



# Geografiska mönster av skogsbränsleflöden för Jämtlands län

*Geographical flows of wood fuels for the county of Jämtland*

---

Anders Wittenström

**Arbetsrapport 389 2013**  
**Examensarbete 30hp D**  
**Jägmästarprogrammet**

**Handledare:**  
**Dimitris Athanassiadis**





# **Geografiska mönster av skogsbränsleflöden för Jämtlands län**

*Geographical flows of wood fuels for the county of Jämtland*

**Anders Wittenström**

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp  
Jägmästarprogrammet  
EX0707

Handledare: Dimitris Athanassiadis, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning

Examinator: : Tomas Nordfjell, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning

Extern handledare: Jonas Vestun, Jämtkraft

## Sammanfattning

Biobränslen står i dagsläget för 20 % av Sveriges tillförda energi. Användandet av förnyelsebara källor förväntas öka till 50 % år 2020 i enighet med det EU gemensamma 20-20 målen. Balansen mellan förbrukning och tillgång på skogsbränslen beskrivs som ojämnt fördelad över landet. För tätbefolkade regioner i mellersta och södra Sverige råder ett underskott medan den potentiella tillgången återfinns i Norrlands inland.

Arbetet syftade till att beskriva 2011 års skogsbränsleflöden för Jämtland med avseende på vad som stannade respektive lämnade länet. Arbetet beräknade även upptagningsområden för Jämtkrafts terminal i Mörsil samt kraftvärmeverk i Lugnvik under tre olika scenarion

1. Enbart bränslevedsleverans till terminal
2. Bränsleveds- och grotleverans till terminal
3. Bränsleveds- och grotleverans till terminal, enbart bränslevedsleverans till kraftvärmeverk

En känslighetsanalys genomfördes med två antaganden: ökad tillgänglig volym samt förändrad kostnad fritt bilväg.

Skogsbränsleflöden från Jämtland fanns till övriga Svenska län samt till Norge. 79 % av flödena stannade i Jämtland. Av detta mättes ~27 % in på järnvägsterminal. Flödena ut ur länet antogs därför vara större än de redovisade.

Vid beräkning av upptagningsområdes storlek ansågs ursprungsförutsättningens tredje scenario mest realistiskt. Det volymvägda medeltransportavståndet till terminalen var då 41,6 km för bränsleved och 25,6 km för grot. Medeltransportavståndet för terminalen och kraftvärmeverket tillsammans blev 73,1 km för bränsleved. Den sammanlagda skogsbränslekostnaden fritt mottagare blev 149,8 kr/MWh. Vid en ökad tillgänglig volym sjönk bränslevedens volymvägda medeltransportavstånd med ~16 %. Grotens hölls oförändrad. Vid en förändrad kostnad fritt bilväg ökade skogsbränslekostnaden fritt mottagare med 2,7 %.

Nyckelord: bränsleved, grot, linjärprogramering, terminal, transport

## Abstract

Today biofuels stands for 20 % of the input energy in Sweden's energy system. The use of renewable resources is expected to increase to 50 % in 2020 in agreement with the EU common 20-20 objectives. The balance between consumption and availability of forest fuels is described as unevenly distributed over the country. A deficit is found in densely populated regions of central and southern Sweden while the potential supply is in the interior of northern Sweden which is less populated.

This thesis aimed to describe the forest fuel flows in Jämtland for the year 2011 in terms of the amounts that stayed or left the county. The thesis did also calculate the procurement area for Jämtkrafts terminal in Mörsil and the combined heat and power plant in Lugnvik in three different scenarios

- 1 Only fuelwood deliverance to the terminal
- 2 Fuelwood and forest residues deliverance to the terminal
- 3 Fuelwood and forest residues deliverance to the terminal, only fuelwood deliverance to the combined heat and power plant

A sensitivity analysis with two assumptions: increased available volume and altered forest fuel cost at roadside was also conducted.

Forest fuel flows were found from Jämtland to other Swedish counties and to Norway. 79 % of the forest fuel was measured in Jämtland but ~27 % was measured at railway terminals. The flows out of the county were therefore assumed to be greater than those reported.

When calculating the procurement area in the original condition the third scenario was considered the most realistic. The volume weighted average transport distance to the terminal was then 41.6 km for fuelwood and 25.6 km for the forest residues. Average transport distance for the fuelwood to the terminal and the power plant together was 73.1 km. The cost of delivering the two assortments to the receiver was 149.8 SEK / MWh. At an increased available volume the volume weighted average transport distance for fuelwood decreased by ~ 16 % while it for forest residues was unchanged. At a changed cost at roadside forest fuel cost at receiver increased with 2.7 %.

Keywords: fuelwood, forest residues, linear programming, terminal, transportation

## Innehållsförteckning

<b>1 Bakgrund</b>	<b>8</b>
1.1 Kort om biobränsle	8
1.2 Trädbränslen	9
1.3 Skogsbränslen	9
1.4 Virkets och skogsbränslets redovisningskedja	10
1.5 Uppdragsgivare	11
1.6 Nätverksmodeller	11
1.7 Tidigare studier	11
<b>2 Syfte</b>	<b>14</b>
<b>3 Material och Metoder</b>	<b>15</b>
3.1 Mjukvaror	15
3.2 Skogsbränsleflöden	15
3.3 Upptagningsområden	15
3.3.1 Avståndsberäkning	16
3.3.2 Kostnadsberäkning	17
3.4 Känslighetsanalys	20
3.5 Avgränsningar	21
<b>4 Resultat</b>	<b>23</b>
4.1 Skogsbränsleflöden	23
4.2 Upptagningsområde	24
4.3 Känslighetsanalys	32
<b>5 Diskussion</b>	<b>34</b>
5.1 Kritik av indata	34
5.2 Kritik av valda metoder	35
5.3 Jämförelse av tidigare arbeten	36
5.4 Tolkning av upptagningsområde	37
5.6 Rekommendationer	38
5.7 Nya Studier	39
<b>6 Slutsats</b>	<b>39</b>
<b>7 Tillkännagivande</b>	<b>40</b>
<b>8 Litteraturlista</b>	<b>41</b>

<b>Bilaga 1. Skogsbränsleflödeskartor.....</b>	<b>44</b>
--	-----------

# 1 Bakgrund

## 1.1 Kort om biobränsle

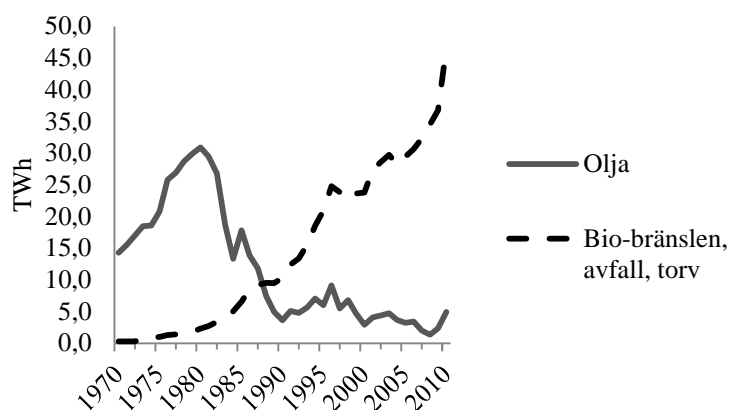
Med biobränsle menas ”*bränsle där biomassa är utgångsmaterial. Bränslet kan ha genomgått kemisk eller biologisk process eller omvandling och ha passerat annan användning.*” (SIS, 2000). Lutar från massaindustrin, avfall med biomassausprung från industri och hushåll, flytande bränslen från biomassa, biogas samt torv räknas i Sverige som ett ursprung för biobränsle. För torv gäller detta dock inte internationellt (Egnéus, 2012).

Från och med 1970 talet har Sverige försökt minska beroendet av andra nationer för den inhemska energiförsörjningen. För att öka andelen biobränslen i det Svenska energisystemet har olika subventioner och skatter införts (Energimyndigheten, 2009). Exempel på detta är: statliga stöd under 1980-talet för fjärrvärmeanslutning av fastigheter (Åkesson et al. 2005), införandet av koldioxidskatt på 1990- talet samt elcertifikatens introduktion på elmarknaden under 2000- talet. Elcertifikat delas ut till de företag som producerar el från förnybara källor. Ett elcertifikat utgår för varje MWh el som kommer från förnybara källor. (Näringsdepartementet, 2010; Hammarlund et al. 2010; Energimyndigheten, 2009). En marknad för elcertifikaten uppstår då de företag som säljer el till slutlig förbrukare tvingas innehålla elcertifikat motsvarande en kvot av den el de säljer (i dagsläget 17,9 %). Företagen som producerar förnyelsebar el har då möjlighet till extraintäkter genom att sälja sina elcertifikat till företag i behov (Aho, 2012, pers. komm.). Dessa faktorer har tillsammans lett till en ökad användning av biobränslen på bekostnad av fossila bränslen.

År 2010 stod biobränslen inklusive torv m.m. för ca 20 % av den totala tillförda energin i Sverige (Loman, 2012). Framtiden pekar mot en ökad användning av biobränslen då Sverige genom det EU gemensamma energisamarbetet åtar sig att fram till år 2020 innehålla 50 % förnyelsebar energi av den totala energianvändningen (Näringsdepartementet, 2010).

Biobränslen har ökat gentemot oljan i den Svenska fjärrvärmesektorn från knappt utnyttjad år 1970 till dominerande år 2010 (Figur 1) (Energimyndigheten, 2011).





**Figur 1.** Den tillförda mängden olja och biobränslen, avfall samt torv (TWh) i den svenska fjärrvärmen från 1970 till 2010 (Energimyndigheten, 2011).

**Figure 1.** The input of oil and biofuels, waste and peat (TWh) in the Swedish district heating from 1970 to 2010 (Energimyndigheten, 2011).

## 1.2 Trädbränslen

Trädbränsle är en undergrupp till biobränsle (Nutek, 1992). Med trädbränsle menas:

*”biobränsle från trädråvara som inte genomgått kemisk process. Trädbränsle innefattar alla biobränslen där träd eller delar av träd är utgångsmaterial, t.ex. – bark, barr, löv, ved samt bränsleråvara från skogs- och trävaruindustrin t.ex. hyvelspån, kutterspån, sågspån, torrflis, justerverksflis och fränsåll. Bränsle av avfallspapper och avlut ingår inte.”* (SIS, 2000).

Trädbränslet kan också definieras i underkategorierna: skogsbränsle, energiskogsbränsle, återvunnet trädbränsle (t.ex. rivningsvirke) samt förädlad trädbränsle där pellets och briketter ingår (Nutek, 1992). År 2010 var trädbränsle det största biobränslet för värmeproduktion i det svenska fjärrvärmenätet och stod för närmare 50 % av de använda biobränslena (Energimyndigheten, 2011).

## 1.3 Skogsbränslen

Skogsbränsle är: *”Trädbränsle där råvaran inte har haft annan användning. Skogsbränsle kan t.ex. utgöras av bränsle från avverkning, från sågverk och från skiv- och massaindustrier. Bränsle från t.ex. rivningsvirke ingår inte.”* (SIS, 2000). En djupare definition av skogsbränsle ges i skogsskötselserien *Skogsbränslen* där med skogsbränslesortimentet menas: *”grenar och toppar, såkallad grot, averkningsstubbar, virke utan industriell användning (t ex röt-, brand- och stormskadat virke) samt ej kemiskt processade biprodukter från skogsindustrin såsom bark, torrflis, sågspån och kutterspån”* (Egnell 2009, s. 7). Skogsbränsle är skogssveriges tredje största sortiment efter timmer och massaved. Skogsbränsle kan delas upp i primärt och sekundärt skogsbränsle. Det primära bränslet är det som fallit ut direkt vid avverkning såsom: grot (grenar och toppar från träd där virket tillvaratagits), stubbar, skadat virke samt okvistade klens stammar. Biprodukter från skogsindustrin såsom bark, sågspån, torrflis och kutterspån räknas som det sekundära skogsbränslet (Svensk Fjärrvärme, 2005; Egnell, 2009). I Sverige skiljer sig skogsbränslesituationen geografiskt över landet. För Norrlands inland

finns idag ett potentiellt överskott av skogsbränsle. Dock råder ett underskott av skogsbränsle för tätbefolkade regioner i mellersta och södra Sverige. Där är behovet större än vad tillgången är lokalt (Enström et al. 2010). Som exempel på detta införskaffade Mälardalsområdet år 2012 30 % av sitt skogsbränsle från andra delar av Sverige samt från andra länder (Johansson, 2010). Trots att ett potentiellt överskott av skogsbränslen finns är dessa i huvudsak biprodukter från avverkningar som syftar till att generera timmer och massaved (Egnell, 2009). Bortsett från en konkurrens inom energisektorn finns även en viss konkurrens med skogsindustrin där energibolag kan köpa massaved (oftast av låg klass) för energitillverkning (Hammarlund et al. 2010).

Kostnaden för skogsbränsle kan delas upp i två kategorier: kostnad fritt bilväg och kostnad fritt slutkund. Fritt avser i detta fall alla kostnader som ingår för skogsbränslet vid de respektive platserna. I kategorin ”kostnad fritt bilväg” ingår ersättning till markägare, omkostnader och terrängtransportkostnad. För kategorin ”kostnad fritt slutkund” ingår kostnad fritt bilväg med tillägg för eventuell sönderdelning, eventuella terminalkostnader, vidaretransport från terminal alternativt transport direkt från vägkant samt en administrationskostnad (Brunberg, 2010). Av dessa kostnadsposter är transportkostnaden troligtvis den största posten som styr om ett uttag skall ske. Transporten står för 20-40 % av totalkostnaden för skogsbränslet. Detta gäller framförallt grot där svårigheten är att nå maximal lastkapacitet utan att överskrida tillåtna lastdimensioner (Angus-Hankin et al. 1995).

#### ***1.4 Virkets och skogsbränslets redovisningskedja***

Vid en virkesaffär finns alltid ett avtal (kontrakt) mellan säljare och köpare. Kontraktet utgör grund för virkesredovisningen och uppgifter om säljare, köpare, priser, sortiment, hur virket skall mätas m.m. ingår i detta kontrakt som redovisas i VIOL. VIOL är ett virkesredovisningssystem från SDC (skogsnäringens it- företag). Kontraktet kopplas sedan mot en virkesorder som bland annat innehåller uppgifter om mätning och transportsätt. Då affären ofta sker för mer än två parter tillskrivs ofta flera affärsled i virkesordern. Dessa kallas för köpekontrakt och bildar tillsammans en affärskedja (SDC, 2012a; SDC, 2012b). Virkesordern följs av en transportorder där uppgifter rörande sortiment, tid och destination för transport m.m. ingår. När virket slutligen når mottagaren mäts det och ett mätbesked som blir vederlagshandling skapas (SDC, 2012a). Virkesmätning sker nästan uteslutande på terminal eller industri och genomförs i huvudsak av en opartisk virkesmätarförening (Bäcke, 2012; Bäcke et al. 2010). Till följd av en ökad transport av virke på järnväg har mätningar vid terminaler ökat och vid vissa terminaler (exempelvis små obemannade) kan det bli nödvändigt med partsmätning dvs. då köparen eller en företrädare (exempelvis lastbilschauffören) för denne mäter virket (Bäcke et al. 2010). Skogsbränslen omfattas i dagsläget inte av virkesmätningens lagen som massaved och timmer och skiljer sig därför något mot massaved och timmer vid mätningförfarandet. Tillexempel står partsmätningen för en större del av mätningarna. För skogsbränslen i Jämtland blir en betydande del av volymerna partmätta (över 2/3), den resterande mängden mäts av VMF. Oavsett om skogsbränslet mäts av VMF eller av en part så redovisas det dock nästan uteslutande av SDC i VIOL som en virkesorder (Haglund, 2012, pers. komm.).

## ***1.5 Uppdragsgivare***

Jämtkraft är ett energibolag i Jämtland som ägs av Östersund, Krokom och Åre kommun. Jämtkraft är uppdelat i fem affärsområden: Elkraft, Elhandel, Elnät, Värme och Telecom. Affärsområdet Värme är den del inom Jämtkraft som ansvarar för produktion och försäljning av i huvudsak värme samt i viss utsträckning el. År 2011 stod affärsområdet för en total värmeproduktion på 665 GWh och elproduktion på 186 GWh (Jämtkraft, 2012). Affärsområdet står inför framtida utmaningar där konkurrenssituationen för biobränslen väntas öka med: ökad uttransport av skogs och trädbränslen via järnväg, osäkerhet i sågverksbranschen där nedläggningar av sågverk i länet skulle påverka skogsbränsleflöden till Jämtkraft negativt, förändrad energipolitik rörande torvens klassificering som förnybart bränsle samt ekonomiskt bortfall av extraintäkter från elcertifikat från och med år 2015 (Vestun, 2012, pers. komm; Jämtkraft, 2012). Affärsområdet söker därför ständigt sätt att effektivisera sin verksamhet och har under år 2011 bl.a. importerat returträ från England för att minska trycket på den lokala biobränslemarknaden där priset på bränslet var högt (Jämtkraft, 2012). Ett nytt steg som genomförts för att minska transportkostnader på skogsbränsle har varit att öppna en terminal i Mörsil som skall försörja de värmeverk som ligger i länets västra delar. Värmeverken skall försörjas med bränsleved vilket är: rötskadad, torr, klen eller massaduglig ved som är kvistfri och uppkapad (Svensk Fjärrvärme, 2005). Terminalen kan även försörjas med en viss mängd grot. Dessa sortiment går även att förbränna vid Jämtkrafts kraftvärmeverk i Lugnvik (Svensson, 2012, pers. komm.). Medeltransportavståndet till de berörda värmeverken sjönk från 78 km till 32 km, när den nya terminalen användes istället för den gamla (Vestun, 2012, pers. komm.).

## ***1.6 Nätverksmodeller***

Nätverksmodeller är en term som samlar olika tekniker som används för att lösa problem rörande positioners geografiska relation till varandra. I en nätverksmodell ingår knutpunkter (noder). Noderna är knutna till varandra med hjälp av länkar. Nätverket kan liknas vid en matris i vilket länkarna kan tillskrivas kvantitativa mått. Måtten kan exempelvis vara kostnader, avstånd, kapacitet m.m. Om länkarna kopplar ihop två noder kallas dessa för kedjor. När de olika noderna är destinerade som frånnoder (avsändare) och tillnoder (mottagare) kallas det riktade länkar och när detta gäller för hela nätverket kallas det riktade nätverk. Nätverksmodeller löses med linjärprogrammering. En nätverksmodell som kan användas för att minimera transportkostnader från ett flertal frånnoder till flertalet tillnoder (transportproblem) är transportmodellen (Dykstra, 1984).

## ***1.7 Tidigare studier***

Tidigare studier som beskrivit skogsbränslesituationen i Sverige exempelvis Enström et.al. (2010) har skattat den potentiella tillgången av skogsbränslen för den stående skogen genom beräkningar baserade på kNN Sverige samt riksskogstaxeringens provytedata. Jacobsson (2005) och Thuresson (2010) skattar också de en potentiell skogsbränsletillgång samt redovisar hur skogsbränsleanvändningen såg ut för den aktuella tidpunkten. Dessa studier redovisar dock inte hur det ser ut på länsnivå utan har i Jacobsson (2005) redovisats per balansområde för sortimentet grot samt på landsnivå för skogsbränslesortimenten brännved, skogsflis, kasserad massaved m.m. Liknande redovisning gjordes av Thuresson (2010) dock med fler redovisade sortiment för skogsbränsle. En bild över hur skogsbränslesituationen (tillförsel och användning) såg ut 2007 för hela Sverige ges också i

Svensson (2008). Rapporten delar upp skogsbränslet på rundvirke, grot, fasta biprodukter från sågverk (flis, spån och bark) samt bark och vedrester från massaproduktion. Författaren nämner problem med uppskattning av skogsbränslesituationen då han anser att statistiken är begränsad och inte tillräckligt fullständig för en uppdelning av olika delar av landet.

Tidigare studier som löst transportproblem och flödesoptimering redovisas bland annat i Dykstra (1984) där en transportskostnadsminimering för transport av plantor i plantskolor till skogsbolag genomfördes. På slutet av 1980-talet löste Eriksson och Björheden (1989) ett problem där ett skogsbränslebehov för en mottagare skulle tillgodoses samtidigt som hanteringskostnaderna för skogsbränslet skulle minimeras. Skogsbränslet kunde levereras via terminal eller direkt till slutkund och en möjlighet för flisning av bränslet fanns också. Deras resultat visade att en minimering av hanteringskostnaderna till en mottagare innebar minimering av transportkostnaderna. Lukka (1994) redovisar i sitt arbete flerperiodsmodeller som syftar till att minska totalkostnaderna för att tillgodose råvarubehovet hos en koncern med flera fabriker. Kostnader i modellerna finns för transport, köp, alternativa sortiment m.m. Bergdahl et al. (2003) genomförde flödesoptimering av rundved med avseende att minimera transportkostnader för ett skogsbolag i norra Sverige. För avståndsberäkning av skogstillgångar användes viapunkter som innehöll information om avstånd mot mottagare. Historisk data om avverkningsars placering i geografin användes för att knyta dessa till de närmaste viapunkterna. Viapunkter svarade på så sätt som frännoder för rundved. Flödesoptimeringen visade på att transportarbetet kunde reduceras med maximalt 8-9 % vid jämförande av det optimerade resultatet mot det verkliga. Forsberg et al. (2005) skapade beslutsstödssystemet FlowOpt för transportplanering och analys av virkesflöden. Beslutsstödet har både en strategisk och taktisk planeringshorisont. I den taktiska planeringshorisonten berörs destineringsbeslut för virke från frännod till tillnod, upptagningsområden och eventuella möjligheter för returkörning. Arbetet använder sig av transportmodellen. Information om specifika industriars transportkostnader, medeltransportavstånd för virket m.m. går att erhålla ur beslutsstödet (Frisk & Rönnqvist, 2005). Ett liknande beslutsstöd skapades av Flisberg et al. (2012) och heter FuelOpt. FuelOpt avser att maximera vinsten för skogsbränslelogistiken samtidigt som leveransplanen till köparna av skogsbränslet följs. Skillnaden mot att optimera flöden för rundved och varför ett eget beslutsstöd är nödvändigt för skogsbränsle är enligt Flisberg et al. (2012) bland annat att flisning av bränslet är nödvändig. Dessutom existerar olika systemval för transport och en variation i efterfrågan uppstår över ett år vilket innebär flera parametrar att ta hänsyn till. FuelOpt tar hänsyn till dessa parametrar och kan beräkna: vilka kunder som är lönsamma för transport av skogsbränsle, vilka maskinsystem som skall användas för upparbetning av skogsbränslet samt var de skall användas, vilka transportsystem som skall nyttjas etc. Kanzian et al. (2009) skapade ett bränsleved- försörjningsnätverk för skogsflis i Österrike som tillät användandet av terminaler. Nätverket skapades genom att använda transportmodellen. Modellen kördes för ett antal scenarion där bland annat effekten av variation i efterfrågan testades. Gemensamt för dessa arbeten är att de nästan uteslutande använt sig av linjärprogramering för att lösa transportproblem och flödesoptimering.

Av dessa anledningar är det intressant att studera hur det verkliga uttaget av skogsbränslen ser ut för ett enskilt inlandslän. Hur stora mängder faller ut? Vart tar detta bränsle vägen? Fraktas det långväga till underskottsregioner eller kanske ut ur landet? Det är även av

intresse att med hjälp av linjärprogramering beräkna upptagningsområden och de kostnader som uppstår för Jämtkrafts terminal med erhållet indata.

## 2 Syfte

Syftet med arbetet är

1. För församlingarna i inlandslänet Jämtland beskriva flöden av skogsbränslen på regional och nationell nivå.
2. Analysera upptagningsområden för Jämtkrafts nya terminal i Mörsil med avseende att minimera totalkostnaderna för inleveranser av skogsbränslet samt beräkna volymvägt medeltransportavstånd och kostnad för skogsbränslet fritt mottagare. Analyserna genomförs i följande tre Scenarion:
  - Scenario 1 Terminalen skall försörjas med 50 GWh bränsleved
  - Scenario 2 Terminalen skall försörjas med 50 GWh skogsbränsle varav 43 GWh bränsleved samt 7 GWh grot
  - Scenario 3 Terminalen skall försörjas med 50 GWh skogsbränsle av sortimenten grot och bränsleved där minimum 43 GWh bränsleved och maximalt 7 GWh grot tillåts att köras in. Vidare skall kraftvärmeverket i Lugnvik försörjas med 272 GWh bränsleved.

## 3 Material och Metoder

### 3.1 Mjukvaror

GIS (geografiska informationssystem) användes under två skeden i arbetet: skapandet av skogsbränslekartan samt beräkning av upptagningsområden. Programet som användes var Esri's ArcMap10. Detta program var lämpligt att använda då det möjliggjorde visualisering och tolkning av georefererad data (Esri, 2012).

Microsoft Excel användes för beräkningar samt sortering av datamängder.

### 3.2 Skogsbränsleflöden

Indata till redovisning av skogsbränsleflöden var de i SDC rapporterade skogsbränslevolymer för Jämtland år 2011. Dessa data innehöll enskilda virkesorder där för varje order: sortiment, volym (angivet i m<sup>3</sup>fub), ursprung och mottagare redovisades. De sortimenten som erhöles från SDC var: bränsleved (VIOL-kod 50), grot (VIOL-kod 51), grotflis (sönderdelad grot, VIOL-kod 64), stamvedsflis (sönderdelad bränsleved, VIOL-kod 63), stubbar (delade, krossade samt hela, VIOL-kod 66), träddeklar (uppkapade okvistade träd, VIOL-kod 41) och träddeklarflis (sönderdelade träddeklar, VIOL-kod 65) (Svensk Fjärrvärme, 2005; SDC, 2011). Kartskikten som användes var Lantmäteriverkets översiktskarta och ESRI's Europa karta. Skapandet av skogsbränslekartan skedde i fyra steg.

Datamaskering: I data från SDC var ursprung för skogsbränsle angivet på församlingsnivå. Slutmottagaren för skogsbränslesortimenten var angivna med företags-/mottagningsplatsens namn eller med dess koordinater. Då illustrering inte fick ske på ett sätt där enskilda mottagare kunde identifieras tilldelades mottagarna sitt länsnamn alternativt landsnamn.

Summering: De olika virkesorderna delades upp sortimentvis och summerades mot varje församling de transporterats från för att senare summeras på de län/land där de mättes in. Detta resulterade i ett flöde för varje sortiment dvs. den samlade transporterade volymen för varje sortiment mellan församling och län/land.

Tilldelning av punkter: Varje församling, län och land som fanns redovisat i data från SDC tilldelades en centrumvägd mittpunkt. Dessa punkter svarade som frånnoder (församling) och tillnoder (län/land) för flöden av skogsbränsle.

Flödesillustrering: Församlingarna hade i detta steg för de olika skogsbränslesortimenten sammanställda volymer för varje län som de transporterat sitt skogsbränsle till. Denna information användes för illustrering av skogsbränsleflödet. Flöden illustrerades med linjer mellan frånnoder (församlingar som bränsle transporterats från) och tillnoder (län/land där bränsle mättes in).

### 3.3 Upptagningsområden

Indata för beräkning av upptagningsområden var dels Lantmäteriverkets översiktskarta samt de ifrån SDC data i Jämtland utfallna samt inmätta volymer grot och bränsleved. För transportkostnader erhöles transporttariff samt medeltransportavstånd för grot och bränsleved från ett transportföretag i Jämtlands län. Transporttariffen gällde för grot för en

lastbil med släp och fastmonterad kran. För bränsleved var det lastbil med släp med en avställningsbar kran. Medeltransportavstånden baserades på de avstånd som transportföretaget hade till Jämtkrafts kraftvärmverk i Lugnvik under år 2011.

Då grot och bränsleved skulle redovisas i MWh krävdes en konvertering från deras tidigare mått. Detta skedde med hjälp av konverteringstabeller. Vid skapande av konverteringstabell för grot användes Jämtkrafts inmätningar (2555 st.) av grot för år 2011. De innehöll information om MWh, m<sup>3</sup>fub, råton, torrhalt m.m. För bränsleved erhöles konverteringstabell för relationen mellan MWh, m<sup>3</sup>fub och råton från värmevärde och sortimentsomvandlaren för skogsbränsle WEcalc (Tabell 1)(Larsson & Nyhlinder, 2012). Detta då bränslevedsdata från Jämtkraft saknade uppgifter om energiinnehåll. Värdena var beräknade med huvudgrupp: stamved, behandlingstyp: obearbetad, primära egenskaper: samtliga och regionen: VMF Nord. Torrhalten för bränsleveden var satt till 55 % vilket var det i programmet använda standardvärdet.

**Tabell 1. Konverteringstabell mellan måttslagen: råton (torrhalt 55 %), MWh och m<sup>3</sup>fub för bränsleved med värden erhållna från WEcalc (Larsson & Nyhlinder, 2012)**

*Table 1. Conversion table between the units: raw tonnes (dry solid content 55 %), MWh and m<sup>3</sup>fub for fuelwood with values obtained from WEcalc (Larsson & Nyhlinder, 2012)*

	Råton	MWh	m <sup>3</sup> fub
Råton	1,000	2,607	1,224
MWh	0,384	1,000	0,469
m <sup>3</sup> fub	0,817	2,130	1,000

Upptagningsområdenas storlek erhöles genom att minimera totalkostnaden för inleverans av grot och bränsleved från de olika församlingarna till mottagarna (terminal och kraftvärmverk). Detta genomfördes i två huvudsteg: avståndsberäkning och kostnadsberäkning. Avståndsberäkningen genomfördes i ArcMap10 och låg till grund för de kommande kostnadsberäkningarna. Kostnadsberäkningarna ställdes upp som ett linjärt problem i syfte att minimera totalkostnaden för inleveranserna och löstes i Excel med tillägget problemlösaren.

### 3.3.1 Avståndsberäkning

Avståndsberäkningen genomfördes i tre steg som redovisas nedan.

Skogsmarksberäkning: De i översiktskartan klassificerade områdena kalfjäll, reservat och sjöar raderades ur församlingarna för att skapa församlingar innehållande områden som till största del var tillgängliga för skogsbruk.

Tilldelning av punkter: Församlingarna tilldelades punkter med verktyget "mean center". Dessa representerade mittpunkten för församlingens skogstillgångar. Terminalen i Mörsil och kraftvärmeverket i Lugnvik koordinatsattes och svarade som mottagningsplatser för skogsbränslet.

Skapande av avståndsmatris: Vägnätet från allmänna vägar i översiktskartan användes som nätverk mellan församlingarna och mottagningsplatser. Verktyget "OD cost matrix" användes för att finna det transportavstånd (avst) från varje församling mot respektive



mottagare som var kortast. Detta resulterade i en avståndsmatris som för varje församling innehöll två avstånd: ett till terminalen och ett till kraftvärmeverket. Avstånden användes som en parameter i kostnadsberäkningen.

### 3.3.2 Kostnadsberäkning

Kostnadsberäkningarna gjordes i fem steg.

Volymkonvertering: De i Jämtland inmätta volymerna av grot och bränsleved för församlingarna konverterades från m<sup>3</sup>fub till MWh. Transporttariffen konverterades från kr/tonkm till kr/MWhkm.

Beräkning kostnad fritt bilväg: Grotkostnad ( $Kg$ ) samt bränslevedskostnad ( $Kb$ ) fritt bilväg erhöles genom att subtrahera Jämtkrafts genomsnittliga transportkostnader för grot och bränsleved från Jämtkrafts genomsnittliga grot och bränslevedskostnad fritt mottagare. Fritt mottagare likställs i detta arbete med vad Brunberg (2010) avser med fritt slutkund. Beräkningarna beskrivs i formel 1a och 1b.

$$Kg = JKIg - (y_g + (x_g * JMtrpg)) \quad (1a)$$

$$Kb = JKIb - (y_b + (x_b * JMtrpb)) \quad (1b)$$

Där

$Kg$  = Grotkostnad fritt bilväg (kr/MWh)

$JKIg$  = Jämtkrafts genomsnittliga grotkostnad fritt mottagare (kr/MWh)

$y_g$  = Fast kostnad vid transport av grot (kr/MWh)

$x_g$  = Rörlig kostnad vid transport av grot (kr/MWh)

$JMtrpg$  = Jämtkrafts medeltransportavstånd grot (km)

$Kb$  = Bränslevedskostnad fritt bilväg (kr/MWh)

$JKIb$  = Jämtkrafts genomsnittliga bränslevedskostnad fritt mottagare (kr/MWh)

$y_b$  = Fast kostnad vid transport av bränsleved (kr/MWh)

$x_b$  = Rörlig kostnad vid transport av bränsleved (kr/MWh)

$JMtrpb$  = Jämtkrafts medeltransportavstånd bränsleved (km)

Beräkning kostnad fritt mottagare för varje församling: De unika transportkostnaderna mellan varje församling och mottagare adderades med grot-/ bränslevedskostnaden fritt bilväg. Detta gav kostnaden fritt mottagare för grot ( $Kfg_{ij}$ ) respektive bränsleved ( $Kfb_{ij}$ ) från församling  $i$  till mottagare  $j$ . Kostnaderna beräknades med formel 2a och 2b.

$$Kfg_{ij} = (y_g + (x_g * avst_{ij})) + Kg \quad (2a)$$

$$Kfb_{ij} = (y_b + (x_b * avst_{ij})) + Kb \quad (2b)$$

Där

$Kfg_{ij}$  = Grotkostnad fritt mottagare vid församling  $i$  mot mottagare  $j$  (kr/ MWh)

$avst_{ij}$  = Transportavstånd från församling  $i$  till mottagare  $j$  (km)

$Kfb_{ij}$  = Bränslevedskostnad fritt mottagare vid församling  $i$  mot mottagare  $j$  (kr/ MWh)

Skapande av kostnadsfunktion för grot och bränsleved För att minimera totalkostnaden ( $TK$ ) av inleveransen av grot och bränsleved användes  $Kfg_{ij}$  och  $Kfb_{ij}$  samt information om tillgängliga skogsbränslevolymer vid varje enskild församling. Med denna information skapades två kostnadsfunktioner. En för grot (3a) och en för bränsleved (3b).

$$\sum_{i=1}^{48} \sum_{j=1}^1 Y_{ij} Kfg_{ij} \quad (3a)$$

$$\sum_{i=1}^{48} \sum_{j=1}^2 X_{ij} Kfb_{ij} \quad (3b)$$

Där

$Y_{ij}$  = Volym grot från församling  $i$  till mottagare  $j$  (MWh)

$X_{ij}$  = Volym bränsleved från församling  $i$  till mottagare  $j$  (MWh)

Minimering av totalkostnad för inleverans av skogsbränsle: För att minimera  $TK$  användes transportmodellen enligt Dykstra (1984). Funktionerna 3a och 3b infogades i en generell modell (4). Modellen minimerade på samma sätt  $TK$  för alla scenarion. Skillnad i resultaten erhöles då respektive scenario hade olika begränsningar. Modellen löstes som ett i Microsoft Excel med tillägget problemlösaren. Problemlösaren använde Simplex LP som lösningsmetod. Simplex LP är en algoritm som nyttjas för att beräkna linjära problem (Anon, 2013).

$$TK = \text{Min} \sum_{i=1}^{48} \sum_{j=1}^1 Y_{ij} Kfg_{ij} + \sum_{i=1}^{48} \sum_{j=1}^2 X_{ij} Kfb_{ij} \quad (4)$$

Där

$TK$  = Totalkostnad för inleverans av skogsbränsle (kr)

Scenario 1 beräknade enbart att 50 GWh bränsleved skulle transporteras till terminalen. 50 GWh bränsleved var den mängd som behövdes för att tillgodose behovet i de anläggningar terminalen hade till uppgift att försörja.

Scenario 2 beräknade både inkörning av grot och bränsleved. Detta för att se hur upptagningsområdet ändrades vid intransport av grot. 7 GWh motsvarade den teoretiska mängd grot Jämtkraft hade kapacitet att förbränna i de värmverk som försörjdes av

terminalen.

Scenario 3 beräknade ett upptagningsområde för både terminal och kraftvärmeverk. Detta för att se om upptagningsområdet för terminalen påverkades av en inkörning till kraftvärmeverket. Inkörningen till kraftvärmeverket motsvarade den volym som svarade för maximalt utnyttjande av tillgänglig mängd bränsleved i Jämtland om 50 GWh bränsleved kördes in till terminalen, dvs. det fanns totalt 322 GWh bränsleved tillgängligt i Scenario 3. De olika behoven av grot respektive bränsleved till terminalen och kraftvärmeverket svarade som efterfrågerestriktionerna (Tabell 2).

**Tabell 2. Efterfrågerestriktionerna (GWh) använda vid minimering av totalkostnaden för Scenario 1, 2 och 3**

*Table 2. Demand restrictions (GWh) used for minimizing the total cost in Scenario 1, 2 and 3*

Scenario	Efterfrågerestriktioner för de olika scenariona angivet i GWh			
	Max leverans grot j1	Max leverans bränsleved j1	Total leverans j1	Max leverans bränsleved j1
1	0	50	50	0
2	7	43	50	0
3	7	50	50	272

För att det inte skulle vara möjligt för modellen att köra in större mängd skogsbränsle än tillgängligt vid varje församling användes restriktioner för detta. Vidare användes restriktioner för att modellen inte skulle leverera in negativa volymer av grot och bränsleved i syfte att sänka totalkostnaden.

$$\sum_{j=1}^1 Y_{ij} \leq SY_i \quad i = 1, \dots, 48 \quad \text{Tillgångsrestriktioner grot}$$

$$\sum_{j=1}^2 X_{ij} \leq SX_i \quad i = 1, \dots, 48 \quad \text{Tillgångsrestriktioner bränsleved}$$

$$X_{ij} \geq 0, Y_{ij} \geq 0 \quad \text{Inlevererade volymer får ej vara negativa}$$

Där

$$J = 1 \quad \text{Terminal}$$

$$J = 2 \quad \text{Kraftvärmeverket}$$

$$SY_i = \quad \text{Grot-tillgång för varje församling (MWh)}$$

$$SX_i = \quad \text{Bränsleveds-tillgång för varje församling (MWh)}$$

Genom att dividera de för varje scenario genererade totalkostnader för grot och bränsleved med den inlevererade volymen för respektive sortiment erhöles den totala kostnaden fritt mottagare för grot (*KI<sub>g</sub>*) och bränsleved (*KI<sub>b</sub>*). Totalkostnaden för de båda sortimenten tillsammans dividerades med den totala mängden inlevererat skogsbränsle för att erhålla kostnaden fritt mottagare för bägge skogsbränslesortimenten (*KI<sub>sb</sub>*). Kostnaderna redovisades dels för de enskilda mottagarna samt tillsammans för de bägge mottagarna.

För att erhålla det volymvägda medeltransportavståndet för dels grot och bränsleved användes den transporterade mängden grot respektive bränsleved, avståndet det transporterades samt den totalt inlevererade mängden grot respektive bränsleved. Det

volymvägda transportavståndet delades upp på respektive mottagare samt tillsammans för de bägge mottagarna. Beräkningarna redovisas i formel 8a och 8b.

$$VmtrpY = \frac{(Y_{ij} * avst_{ij})}{Y_{tot}} \quad (8a)$$

$$VmtrpX = \frac{(X_{ij} * avst_{ij})}{X_{tot}} \quad (8b)$$

Där

$VmtrpY$  = Volymvägt medeltransportavstånd grot (km)

$Y_{ij}$  = Transporterad volym grot från församling  $i$  till mottagare  $j$  (MWh)

$Y_{tot}$  = Total inlevererad mängd grot (MWh)

$VmtrpX$  = Volymvägt medeltransportavstånd bränsleved (km)

$X_{ij}$  = Transporterad volym bränsleved från församling  $i$  till mottagare  $j$  (MWh)

$X_{tot}$  = Total inlevererad mängd bränsleved (MWh)

### 3.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomfördes med två olika beräkningsantaganden. Dessa ställdes mot ursprungsförutsättningens tre olika scenarion.

Det första antagandet ökad tillgänglig volym (*ötv*) användes för att se vilken effekt en ökning av grot och bränslevedsvolymer hade på det volymvägda medeltransportavståndet samt kostnaden fritt mottagare för de olika skogsbränslesortimenten. All tillgänglig grot- och bränsleved från församlingarna tilläts i detta antagande för inleverans till terminal och kraftvärmeverk alltså även de skogsbränslevolymer som blivit slutligt redovisat på annan plats än Jämtland. Den efterfrågade mängden var dock densamma som i ursprungsförutsättningen. I det andra antagandet förändrades kostnaden fritt bilväg för grot och bränsleved och kallades för "förändrad kostnad fritt bilväg" (*fkfb*). Känslighetsanalysen genomfördes för att se hur stor effekt kostnaden fritt bilväg hade på det volymvägda medeltransportavståndet samt kostnaden fritt mottagare. Kostnaderna fritt bilväg erhöles från ett antal skogsbränslehanterande bolag och beräknades som ett medel av alla bolagens kostnader för grot och bränsleved fritt bilväg. I de erhållna kostnaderna var administrationskostnaden inte medräknad till skillnad mot ursprungsförutsättningen (Scenario 1-3) där administrationskostnaden ingick. Administrationskostnaden ingick i ursprungsförutsättningen då enbart transportkostanden subtraherats från kostnaden fritt mottagare. För att en jämförelse skulle vara relevant adderades en administrationskostnad på de bägge sortimenten i kostnaderna erhållna från de skogsbränslehanterade bolagen. Administrationskostnadens storlek i förhållandet till kostnaden fritt bilväg erhöles i

(Brunberg, 2010) och motsvarade 8,75 % för grot och 7,84 % för bränsleved (i Brunberg (2010) benämnt energived).

### 3.5 Avgränsningar

Då det i översiktskartans församlingsindelning återfanns enklaver för enskilda församlingar liggandes insprängda i andra församlingar (Figur 2) och det från SDC erhållna data inte redovisade vilken församlingsdel som skogsbränslet transporterats från gjordes en förenkling där den största församlingsdelen svarade som ursprunget för skogsbränslet. Församlingsenklaverna slogs senare ihop till större församlingar där församlingsindelningen från 1992 användes som grund (SCB, 2012). Undantag för detta gällde Åsarnes församling där de två största delarna av församlingen nästintill var identiska i storleken. Denna församling blev två delar, Åsarne och Åsarne Börtnan. Volymerna som fallit ut från församlingen delades lika mellan delarna. För Rödön och Krokomböden uppstod en special situation då virke redovisats från Krokomböden vilket ej är en församling. Krokomböden är dock både en kommun och en ort. Dessa volymer fick samma ursprung för avståndsberäkning som Rödön då orten Krokomböden låg i Rödöns församling. Ström och Strömsund tilldelades också de samma geografiska placering. Det fanns även flöden redovisat från Jämtland dvs. det fanns ingen församling för detta bränsle. Troligtvis beroende på att det försvunnit information om vilken församling skogsbränslet kommit från. Jämtland blev därför i arbetet en egen församling som hade länets mittpunkt som utgångspunkt. Detta ledde till att flödet från Jämtland till Jämtland kom att sakna flödeslinje då ursprung och mottagningsplats var samma plats. Totalt gav detta 48 utgångspunkter för skogsbränslet. Flödesillustreringen kom ej att visa den exakta väg skogsbränslet eventuellt lämnade länet på. Det vill säga att skogsbränslet kan ha transporterats från sin ursprungsförsamling till en annan för att sedan lämna länet men i flödesillustreringen kommer flödet endast visas från ursprungsförsamling till mottagare. De för skogsbränslen mottagande länen av skogsbränslet tilldelades en centrumvägd mittpunkt och visar med andra ord inte den plats i länet där köpare finns.

För att beskriva totalflödet av skogsbränslen för Jämtlands län i GWh användes konverteringsfaktorn  $1 \text{ m}^3 \text{ fub} = 2,537 \text{ MWh}$  enligt WEcalc (Larsson & Nyhlinder, 2012). Värdena var beräknade med huvudgrupp: samtliga, behandlingstyp: samtliga, primära egenskaper: samtliga och regionen: VMF Nord. Torrhalten för skogsbränsle var satt till 55 % vilket var det i programmet använda standardvärdet.

Den säsongsvisa variationen av skogsbränslebehovet hos värmeverk (högre förbrukning vintertid än sommartid) nämnt av bland annat Haapaniemi (2011) är inte beräknad. Efterfrågan till terminalen och kraftvärmeverket är beräknad på årsbasis.



**Figur 2.** Beskrivning av hur en församling kan återfinnas som flera enklaver i andra församlingar.  
**Figure 2.** Illustration of how one assembly can exist as separated enclaves located in other assemblies.

© Lantmäteriet, i2012/901

## 4 Resultat

### 4.1 Skogsbränsleflöden

Skogsbränsleflödena illustrerades både som kartor (Bilaga 1) samt i tabellform (Tabell 3). Kartorna illustrerade de flöden som skett i Jämtlands län för skogsbränslesortimenten bränsleved, grot, grotflis, stamvedsflis, stubbar, träddelar samt träddelsflis under år 2011. Den totala redovisade mängden skogsbränsle för Jämtlands län var 359 881 m<sup>3</sup>fub (913 GWh). Av den totala redovisade mängden skogsbränsle från de Jämtländska församlingarna år 2011 stannade 79 % av skogsbränslet kvar i länet. Den näst största mottagaren av skogsbränslet var Västernorrlands län. Det största skogsbränslessortimentet år 2011 var bränsleved, det minsta var stubbar. Det skogsbränsle som till störst andel lämnade länet var grotflis med en uttransport på 46 %.

**Tabell 3.** Skogsbränslevolymer (m<sup>3</sup>fub) per sortiment. Fördelat på mottagande län eller land år 2011

*Table 3. Forest fuel volumes (m<sup>3</sup>fub) presented per assortment and grouped by receiving counties or country during 2011*

Län/land	Skogsbränslevolymer fördelat per sortiment angivna i m <sup>3</sup> fub							
	Bränsleved	Grot	Grotflis	Stamvedsflis	Stubbar	Träddelar	Träddelsflis	Tot län/land
Jämtland	151 177	28 969	31 585	35 060	8 950	10 045	18 465	284 251
Västernorrland	33 475	1 092	3 235	-	36	353	7	38 198
Södermanland	-	-	20 102	974	-	-	-	21 076
Gävleborg	6 794	571	2 127	-	46	-	885	10 423
Dalarna	357	-	-	-	-	-	3 879	4 236
Uppsala	-	-	902	-	-	-	-	902
Norge	609	-	-	-	-	-	-	609
Västmanland	186	-	-	-	-	-	-	186
Total	192 598	30 632	57 951	36 034	9 032	10 398	23 236	359 881

Den största mängd skogsbränsle år 2011 mättes in vid industri men flöden fanns även fördelat på andra mottagningsplatser (Tabell 4).

**Tabell 4. Skogsbränsle per sortiment (m<sup>3</sup>fub) inmätta i Jämtlands län under år 2011 fördelat på mottagningsplatser**

*Table 4. Forest fuel per assortments (m<sup>3</sup>fub) measured in the county of Jämtland in 2011 distributed on reception sites*

Mottagningsplats	Skogsbränslesortiment inmätta i Jämtland per mottagningsplats angivet i m <sup>3</sup> fub							Summa
	Bränsleved	Grot	Grotflis	Stamvedsflis	Stubbar	Träddelar	Träddelsflis	
Bilväg	2 777	-	-	-	-	-	-	2 777
Industri	49 885	24 972	6 422	35 060	7 058	9 971	14 259	147 627
Järnväg	73 593	3 940			364	74		77 971
Upparbetning- /virkesterminal	24 921	58	25 163		1 528		4 206	55 876
Total	151 177	28 969	31 585	35 060	8 950	10 045	18 465	284 251

## 4.2 Upptagningsområde

Omräkningstalen mellan råton, MWh och m<sup>3</sup>fub för grot beräknades med information om inmätt mängd grot vid Jämtkrafts kraftvärmeverk Lugnvik år 2011 där medeltorrhalten för de inmätta lassen var 52 % (Tabell 5).

**Tabell 5 Konverteringstabell för grot mellan måttlagen råton (torrhalt 52 %), MWh och m<sup>3</sup>fub baserat på inmätta volymer år 2011 vid Jämtkrafts kraftvärmeverk i Lugnvik**

*Table 5. Conversion table between the units: raw tonnes (dry solid content 52 %), MWh and m<sup>3</sup>fub for forest residues. The values were obtained from 2011 measured volumes at the combined heat and power plant in Lugnvik*

	Råton	MWh	m <sup>3</sup> fub
Råton	1,000	2,390	1,130
MWh	0,420	1,000	0,470
m <sup>3</sup> fub	0,890	2,120	1,000

Den för Jämtland inmätta mängden grot och bränsleved var 61,5 respektive 322,0 GWh. De volymvägda medeltransportavstånden för grot (*Vmtrp Y*) och (*Vmtrp X*) bränsleved varierade mellan 25,6 km och 78,0 km för Scenario 1-3. Kostnaden fritt mottagare för grot (*KI<sub>g</sub>*), bränsleved (*KI<sub>b</sub>*) samt den för bägge sortimenten (skogsbränsle) sammavägda kostnaden (*KI<sub>sb</sub>*) för Scenario 1-3 varierade mellan 138,1kr/MWh och 153 kr/MWh. Då Scenario 3 innefattade två mottagningsplatser finns en detaljerad redovisning av detta scenario där de båda mottagarnas värden är redovisas var för sig (Tabell 6).



**Tabell 6. Volymvägt medeltransportavstånd (km) för grot och bränsleved. Kostnad (kr/MWh) grot, bränsleved och skogsbränsle fritt mottagare i Scenario 1-3. Scenario 3 specificerat på terminal och kraftvärmeverk**

*Table 6. Volume weighted average transport distance (km) for fuelwood and forest residues. Cost (SEK/MWh) for forest residues, fuelwood and forest fuel at receiver in Scenario 1-3. Scenario 3 is specified for terminal and combined heat and power plant*

Scenario	Volymvägda medeltransportavstånd (km) skogsbränslekostnader (kr/MWh)				
	<i>Vmtrp Y</i>	<i>Vmtrp X</i>	<i>Klg</i>	<i>Klb</i>	<i>Klsb</i>
Scenario 1	-	27,4	-	138,4	138,4
Scenario 2	25,6	26,4	153	138,1	140,2
Scenario 3	25,6	73,1	153	149,8	149,8
Scenario 3 terminal	25,6	41,6	153	141,9	143,5
Scenario 3 kraftvärmeverk	-	78,0	-	151,0	151,0

Vid Scenario 1 varierade den inlevererade mängden bränsleved mellan 467 MWh till 20 824 MWh från de levererande församlingarna. Transportavståndet var som lägst 22,3 km och som högst 41,2 km (Tabell 7).

**Tabell 7. Transporterad mängd (MWh) bränsleved samt transportavstånd (km) för de olika församlingarna givna i Scenario 1**

*Table 7. Transported quantities (MWh) of fuelwood from different assemblies and transport distances (km) for Scenario 1*

Mottagare	Transporterad mängd bränsleved (MWh) samt transportavstånd (km)		
	Församling	Bränsleved	Transportavstånd
Mörsil	Västra storsjöbygden	20 824	28,0
Mörsil	Alsen	16 276	22,3
Mörsil	Undersåker	7 361	32,1
Mörsil	Näskott	5 071	33,5
Mörsil	Rödön	467	41,2

Upptagningsområdet koncentrerades jämnt runt terminalen vid Scenario 1 och bestod av fem församlingar (Figur 3).



**Figur 3.** Upptagningsområde och flöde av bränsleved för Jämtkrafts terminal i Mörsil vid Scenario 1.

**Figure 3.** The procurement area and fuelwood flow for Jämtkrafts terminal in Mörsil for Scenario 1.

© Lantmäteriet, i2012/90

Vid Scenario 2 varierade den inlevererade mängden bränsleved mellan 5 900 MWh till 20 824 MWh för de olika församlingarna. Grot leverades från två församlingar i detta scenario. Det längsta transportavståndet sjönk i Scenario 2 till 32,1 km (Tabell 7).

**Tabell 8. Transporterad mängd (MWh) bränsleved och grot från olika församlingar samt transportavstånd (km) för Scenario 2**

*Table 8. Transported quantities (MWh) of fuelwood and forest residues from different assemblies and transport distance (km) for Scenario 2*

Mottagare	Församling	Transporterad mängd bränsleved och grot (MWh) samt transportavstånd (km)		
		Bränsleved	Grot	Transportavstånd
Mörsil	Västra storsjöbygden	20 824	4 103	28,0
Mörsil	Alsen	16 276	2 897	22,3
Mörsil	Undersåker	5 900	-	32,1

Upptagningsområdet för terminalen i Mörsil krympte i Scenario 2 mot Scenario 1 och bestod av tre församlingar (Figur 4).



**Figur 4** Upptagningsområde och flöde av bränsleved och grot för Jämtkrafts terminal i Mörsil vid Scenario 2.

**Figure 4.** The procurement area and flow of fuelwood and forest residues for Jämtkrafts terminal in Mörsil given in Scenario 2.

© Lantmäteriet, i2012/90

För Scenario 3 levererades bränsleved och grot till terminalen i Mörsil samt bränsleved till kraftvärmverket i Lugnvik. Totalt för terminalen i Mörsil levererades 7 000 MWh grot samt 43 000 MWh bränsleved. För kraftvärmverket i Lugnvik levererades 272 000 MWh bränsleved. Det längsta transportavståndet för terminalen var 73,4 km medan det för kraftvärmverket var 249,6 km (Tabell 9).

**Tabell 9. Transporterade mängd (MWh) bränsleved och grot från olika församlingar samt transportavstånd (km) till Mörsil och Lugnvik för Scenario 3**

*Table 9. Transported quantities (MWh) of fuelwood and forest residues from different assemblies and transport distance (km) to Mörsil or Lugnvik for Scenario 3*

Mottagare	Församling	Transporterad mängd bränsleved och grot (MWh) samt transportavstånd (km)		
		Bränsleved	Grot	Transportavstånd
Mörsil	Alsen	16 276	2 897	22,3
Mörsil	Åre	11 248	-	70,3
Mörsil	Undersåker	7 361	-	32,1
Mörsil	Västra storsjöbygden	4 317	4 103	28,0
Mörsil	Kall	3 797	-	73,4
Lugnvik	Häggenås-Lit-Kyrkås	31 552	-	28,2
Lugnvik	Alanäs	20 096	-	148,5
Lugnvik	Föllingebygden	17 513	-	95,6
Lugnvik	Stugun	17 041	-	58,8
Lugnvik	Västra Storsjöbygden	16 507	-	55,0
Lugnvik	Ström	16 138	-	130,0
Lugnvik	Revsund, Sundsjö, Bodsjö	14 891	-	52,9
Lugnvik	Hammerdal	14 860	-	72,1
Lugnvik	Ragunda	14 057	-	95,3
Lugnvik	Offerdal	12 706	-	72,9
Lugnvik	Bräcke-Nyhem	8 690	-	87,1
Lugnvik	Hällesjö-Håsjö	7 840	-	100,6
Lugnvik	Fjällsjö	7 024	-	153,3
Lugnvik	Lockne	6 448	-	31,1
Lugnvik	Östersund	5 457	-	4,8
Lugnvik	Aspås	5 218	-	35,2
Lugnvik	Rödön	5 153	-	18,6
Lugnvik	Näskott	5 071	-	28,2
Lugnvik	Tåsjö	4 714	-	167,7
Lugnvik	Berg	4 694	-	64,4
Lugnvik	Gåxsjö	4 285	-	76,7
Lugnvik	Ås	3 982	-	9,3
Lugnvik	Fors	3 590	-	120,4
Lugnvik	Rätan-Klövsjö	3 238	-	94,5
Lugnvik	Oviken-Myssjö	3 188	-	68,1
Lugnvik	Brunflo	2 818	-	23,3
Lugnvik	Bodum	1 789	-	160,8
Lugnvik	Tännäs-Ljusnedal	1 759	-	197,4
Lugnvik	Hackås	1 671	-	58,6
Lugnvik	Svegsbygden	1 572	-	197,2
Lugnvik	Frostviken	1 308	-	249,6
Lugnvik	Näs	1 182	-	36,2
Lugnvik	Hedebygden-Härjedalen	871	-	146,1

**Tabell 9.Fortsättning****Table 9. Continued**

Lugnvik	Frösö	819	-	10,2
Lugnvik	Ytter- Överhogdal och Ängersjö	603	-	144,6
Lugnvik	Åsarne	387	-	75,1
Lugnvik	Åsarne Börtnan	387	-	100,7
Lugnvik	Borgvattnet	326	-	97,1
Lugnvik	Krokom	223	-	18,6
Lugnvik	Marieby	147	-	19,6

Upptagningsområdet för terminalen i Mörsil förflyttades i västlig riktning i Scenario 3 då kraftvärmeverket i Lugnvik också konkurrerade om bränsleveden. Upptagningsområdet för terminalen i Mörsil bestod av fem församlingar. Bränsle levererades från alla församlingar utom en (Figur 5).



**Figur 5.** Upptagningsområde och flöde av bränsleved och grot för Jämtkrafts terminal i Mörå samt flöde av bränsleved till Jämtkrafts kraftvärmeverk i Lugnvik vid Scenario 3

**Figure 5.** The procurement area and flow of fuelwood and forest residues for Jämtkrafts terminal in Mörå and the flow of fuelwood to Jämtkrafts combined heat and power plant in Lugnvik given in Scenario 3.

© Lantmäteriet, i2012/90

### 4.3 Känslighetsanalys

Redovisningen nedan beskriver känslighetens två antaganden: ökad tillgänglig volym (*ötv*) samt förändrad kostnad fritt bilväg (*fkfb*).

Vid antagandet *ötv* ökade den tillgängliga volymen grot med ~5 % från 61,5 till 65,0 GWh och bränsleved med ~27 % från 322 till 410 GWh. Vid antagandet *fkfb* så var kostnad fritt bilväg för grot (*Kg*) ~36 % billigare än i ursprungsförutsättningen. För bränsleved (*Kb*) ökade kostnaden med ~4 %.

Det enda antagandet i vilket det medelvägda transportavståndet skiljde sig mot något av scenariona i ursprungsförutsättningen var för *ötv*. Detta gällde för bränsleved i Scenario 3 där det volymvägda medeltransportavståndet sjönk med ~16 % från 73,1 till 61,2 km. Mängden inlevererad grot minskade också i detta scenario från 7,0 GWh till 5,5 GWh. För antagandet *fkfb* skiljde sig inte transportavståndet mot ursprungsförutsättningen.

Grotkostnad fritt mottagare skiljde sig mellan ursprungsförutsättningens scenarion och känslighetsanalysens antaganden. *Fkfb* hade den lägsta grotkostnaden fritt mottagare med 113,6 kr/MWh i Scenario 2 och 3. I ursprungsförutsättningen var grotkostnaden fritt mottagare 153,0 kr/MWh för Scenario 2 och 3. Grotkostnaden fritt mottagare för *ötv* var i Scenario 2 detsamma som för ursprungsförutsättningen men i Scenario 3 sjönk grotkostnaden fritt mottagare med 0,5 kr/MWh (Tabell 10).

**Tabell 10. Grotkostnad (kr/MWh) fritt mottagare i Scenario 2 och 3 för ursprungsförutsättningen mot känslighetsanalysens antaganden : ”ökad tillgänglig volym” (*ötv*) och ”förändrad kostnad fritt bilväg” (*fkfb*)**

*Table 10. Forest residue cost (SEK/MWh) at receiver in Scenario 2 and 3 for the original premise versus the sensitivity analyses presumptions: increased available volumes (*ötv*) and altered cost at roadside (*fkfb*)*

Scenario	Grotkostnad fritt mottagare ( <i>Klg</i> ) angivet i kr/MWh		
	Ursprungsförutsättning	<i>Ötv</i>	<i>Fkfb</i>
Scenario 2	153,0	153,0	113,6
Scenario 3	153,0	152,5	113,6

Bränslevedskostnaden fritt mottagare skiljde sig mellan ursprungsförutsättningens scenarion och känslighetsanalysens antaganden. För *fkfb* blev bränslevedskostnaden fritt mottagare högre i alla scenarion jämfört med ursprungsförutsättningen och *ötv*. För Scenario 1 och 2 ökade kostnaden med 4,9 kr/MWh mot ursprungsförutsättningen. I Scenario 3 var kostnaden 4,8 kr/MWh högre. Bränslevedskostnaden för *ötv* och ursprungsförutsättningen var detsamma i Scenario 1 och 2 men skiljde sig åt vid Scenario 3 där kostnaden för *ötv* var 3,0 kr/MWh lägre (Tabell 11).



**Tabell 11. Bränslevedskostnad (kr/MWh) fritt mottagare i Scenario 1-3 för ursprungsförutsättningen mot känslighetsanalysens antaganden: "ökad tillgänglig volym" (ötv) och "förändrad kostnad fritt bilväg" (fkfb)**

*Table 11. Fuelwood cost (SEK/MWh) at receiver in Scenario 1-3 for the original premise versus the sensitivity analyses presumptions increased available volumes (ötv) and altered cost at roadside (fkfb)*

Scenario	Bränslevedskostnad fritt mottagare (Klb) angivet i kr/MWh		
	Ursprungsförutsättning	Ötv	Fkfb
Scenario 1	138,4	138,4	143,3
Scenario 2	138,1	138,1	143,0
Scenario 3	149,8	146,8	154,6

Den sammanvägda skogsbränslekostnaden för de båda sortimenten skiljde sig åt mellan ursprungsförutsättningen och de olika känslighetsanalysens antaganden undantaget Scenario 1 och 2 mellan ursprungsförutsättningen och ötv. Ötv's kostnad var 2,9 kr/MWh lägre för Scenario 3 än i ursprungsförutsättningen. Fkfb var billigare än ursprungsförutsättningen i Scenario 2 men ej i de andra scenarierna (Tabell 12).

**Tabell 12. Skogsbränslekostnad (kr/MWh) fritt mottagare i Scenario 1-3 för ursprungsförutsättningen mot känslighetsanalysens antaganden: "ökad tillgänglig volym" (ötv) och "förändrad kostnad fritt bilväg" (fkfb)**

*Table 12. Forest fuel cost (SEK/MWh) at receiver in Scenario 1-3 for the original premise versus the sensitivity analyses presumptions increased available volumes (ötv) and altered cost at roadside (fkfb)*

Scenario	Skogsbränslekostnad fritt mottagare (Klsb) angivet i kr/MWh		
	Ursprungsförutsättning	Ötv	Fkfb
Scenario 1	138,4	138,4	143,3
Scenario 2	140,2	140,2	138,9
Scenario 3	149,8	146,9	153,8

## 5 Diskussion

### 5.1 Kritik av indata

I indata var alla sortimenten redovisade i m<sup>3</sup>fub vilket inneburit att sortimenten grot, grotflis, stamvedsflis, stubbar, träddeklar och träddeleksflis blivit omräknade till ett handelsmått som de ursprungligen inte var inmätta i. Ett mer rättvisande mått för sortimenten hade varit råton eller MWh då det är mått som energibranschen använder sig av. För beskrivning av skogsbränsleflöden genomfördes dock inga konverteringar till MWh då förhållandet för varje sortiment avseende den mängd som stannar respektive lämnar länet är detsamma.

Vid beräkning av upptagningsområden konverterades dock indata för grot och bränsleved till MWh. Omräkningarna mellan måttslagen m<sup>3</sup>fub till MWh var i detta fall nödvändig för att redovisade resultat skulle passa uppdragsgivaren. Riskerna för konverteringar låg dels i att ackumulerande fel kunde förväntas för grot då detta bränsleslag redan blivit konverterat från sitt ursprungliga handelsmått. De generella riskerna med konvertering av grot och bränsleved (som är heterogena bränslen) är att över-/ underskattning kan ske då konverteringsfaktorerna endast avser ett medellass. En stor variation kan uppstå för olika lass beroende på lagringstid, rötandel, fukthalt, askhalt, mängd föroreningar osv. Konverteringarna styrks dock av att liknande beräkningar genomförts i Enström et al. (2010), Jacobsson (2005) samt Thuresson (2010). Konverteringstabellen för grot anses tillförlitlig. Dels för att den bygger på ett stort antal lass över tidsperioden ett år vilket gör att variation i energiinnehåll för enskilda lass minimeras. Dessutom var de inmätta lassen från samma år och samma område som det från SDC erhållna data. Den konverteringstabell använd för bränsleved som hämtades från WEcalc är dock ett mer osäkert verktyg att använda då data till denna tabell inte är beräknad för det specifika området utan för hela området VMF Nord.

Flöden till de olika länen utanför Jämtland antas vara något underskattade. Detta då en stor volym av det i indata inmätta skogsbränslet för Jämtland redovisades på järnvägsterminaler. En stor sannolikhet finns att dessa volymer lämnade länet då tågtransport är ett alternativ till lastbilstransport vid längre transportavstånd (Forsberg, 2009). Vilket transportavstånd som gör tågtransport mer kostnadseffektivt än lastbilstransport är svårt att ange då den rörliga transportkostnaden inte är den enda påverkande faktorn. Grundkostnader i form av lastnings-/lossningskostnader och effektivt utnyttjande av resurser (exempelvis vagnar) m.m. påverkar i stor grad vad detta avstånd blir. Något antagande om vilka av de volymer som blivit inmätta på järnvägsterminal som bör ha lämnat länet har därför inte gjorts (Frosch & Thorén, 2010). En övrig risk för att den totala mängden skogsbränsle i indata var underskattad fanns då det inte var säkert att alla köpare av skogsbränsle i Jämtland var knutna till SDC och på så sätt inte behövde redovisa sina virkesorder i VIOL. Detta bekräftas av personal på VMF (Haglund, 2012, pers. komm.) som menar att risken finns att vissa volymer inte blivit redovisade. Han påpekar dock att denna volym är liten och att den i VIOL över året redovisade skogbränslevolymen kan sägas svara för länets totalflöde. Vidare antogs en stor andel av skogsbränslet vara partsmätt. Partsmätning kan tänkas påverka den redovisade mängden skogsbränsle då det är svårt att säkerställa kvalitén på denna mätning. Det är nämligen inte säkert den som mätte in skogsbränslet hade mätningen som sin huvudsakliga arbetsuppgift, något som nämns i Bäcké et al. (2010). Storleken på skogsbränslevolymer bör dock inte

ogiltigförklaras då mätningarna som utförts ändå ansetts vara tillräckligt goda för att vara vederlagsgrundande mellan köpare och säljare.

Alternativet till att använda sig av SDC data hade varit att beräkna tillgänglig mängd bränsle likt Thuresson (2010) som i sin rapport beräknat förbrukningen av olika trädbränslesortiment genom att använda förbrukningsstatistik från energimyndigheten och sedan bedömt ursprunget av bränslet med information från trädbränsleförbundet. Det finns dock begränsningar i denna metod. Bland annat är det svårt att dela upp trädbränslet på skogsbränslesortiment då informationen är bristfällig. Det är också svårt att identifiera flödena för dessa volymer då ursprunget är okänt. Ett sätt att beskriva flödena hade varit att likt Enström et al. (2010) genomföra enkätstudier för de i länet belägna köparna och förbrukarna av skogsbränsle för att skatta skogsbränslebehovet i länet. För att beräkna tillgängliga volymer skogsbränsle hade varit möjligt att använda erfarenhetstal för hur mycket skogsbränsle som brukar falla ut vid slutavverkningar och använt sig av avverkningsstatistik från skogsstyrelsen för att se den totala avverkningsmängden. En jämförelse mellan utfall och behov hade sedan gett indikationer på hur stort under-/överskott av skogsbränsle som funnits i länet. Att arbeta på detta sätt ansågs dock leda till många antaganden både gällande tillgängliga volymer samt deras flöden varför den för arbetet valda metoden anses vara mer användbar.

Kostnaderna fritt bilväg för grot i ursprungsförutsättningen skiljde sig mot de kostnader som erhöles i *fkfb*. Grot var ~36 % billigare än i ursprungsförutsättningen. Skillnaden för bränsleved var dock marginell (~4 % dyrare i *fkfb* än för ursprungsförutsättningen). Den beräknade grotkostnaden kan ses som en svaghet i arbetet då den avviker så mycket från vad respondenterna i *fkfb* angav. Men då de inhämtade kostnadsuppgifterna i antagandet *fkfb* erhöles från respondenter som hade andra förutsättningar gällande medeltransportavstånd, konkurrens m.m. än värdforetaget ansågs de beräknade kostnaderna vara av högre kvalitet för arbetet. Detta då de baserades på medelkostnaderna fritt mottagare, medeltransportavstånden samt transporttariffen för värdforetaget. Kostnaden för detta sortiment varierar dessutom kraftigt mellan olika avverkningar då skotningskostnaden står för en stor del av den totala kostnaden fram till bilväg.

## **5.2 Kritik av valda metoder**

Genom att begränsa informationen för redovisade skogsbränslevolymer till ett specifikt år så fångas endast en ögonblicksbild för länets flöden. Variation i förbrukning uppstår från år till år beroende på bland annat rådande väderläge. År 2011 var till exempel ett för regionen väldigt varmt år och produktionen av värme för Jämtkraft blev 665 GWh till skillnad mot 2010 som var ett väldigt kallt år där produktionen uppgick till 802 GWh (Jämtkraft, 2011; Jämtkraft, 2012). Uttaget av skogsbränslen borde på så sätt påverkas av vädret då ett stort behov torde leda till ett större uttag. Något som framförallt gäller för bränsleved. Groten avverkas vintern innan behovet uppstår vilket gör grotmängden svårare att variera (Vestun, 2012, pers. komm.). På samma sätt borde också utfall och framförallt flöden påverkas av pris och tillgång på alternativa bränsleslag. Resultatet för skogsbränsleflödet avsåg dock att redovisa flödet för året 2011 varför vald metod ansågs relevant.

Vid beräkning av kostnadsminimering för inlevererat skogsbränsle användes transportmodellen. Risken med att låta en modell beräkna verkligheten är att dess restriktioner inte kan fånga alla händelser som kan tänkas uppstå i det verkliga livet. Men

då flertalet arbeten (Dykstra, 1984; Eriksson & Björheden 1989; Bergdahl et al. 2003; Forsberg et al. 2005; Kanzian et al. 2009) likt detta arbete använt sig av transportmodellen för att beräkna liknande problem ansågs ändå modellvalet relevant.

Antagandet om att skogsbränsle transporteras från ett medelvägt centrum gör att det beräknade centrumet inte är detsamma som verkligt centrum för avverkningarna. Men då informationen om skogsbränslets spatiala fördelning i länet endast gick att se på församlingsnivå fick detta antagande ändå göras. Det använda verktyget för avståndsberäkningar räknade det kortaste avståndet vilket inte alltid är det "bästa" avståndet. En del av de vägar som användes var exempelvis inte huvudvägar som löper genom församlingarna. Kanzian et al. (2009) beräknade i sitt arbete ett liknande problem. Skillnaden mot detta arbete var att de beräknade den snabbaste vägen och inte den kortaste vägen för transporten mellan frännod och tillnod. Avståndet var inte den enda variabeln utan även hastighetsbegränsningar, restriktioner m.m. Liknande beräkning genomfördes också av Forsberg et al. (2005) och Flisberg et al. (2012). Vägsiktet som användes för detta arbete gällande avståndsberäkningar innehöll dock inte små skogsbilvägar som i praktiken vore omöjliga att använda för transport av skogsbränsle vilket gjorde att denna svaghet accepterades.

### **5.3 Jämförelse av tidigare arbeten**

Resultaten visade en export av skogsbränsle från Jämtland till andra län i Sverige samt till Norge. Något som kan jämföras med studier genomförda av Enström et al. (2010) och Johansson (2010) där de påvisat ett underskott av skogsbränsle för regioner som detta arbete redovisade flöden till. Dessutom visade *Biokraftkartan* (anon, 2012) en högre täthet av förbrukare (av främst biobränsle) längs norrlandskusten samt i tätbefolkade områden som resultaten påvisade på skogsbränsleflöden till.

Vid jämförelse av liknande studier för beräkning av upptagningsområden bör den första jämförelsen göras med Dykstra (1984). Transportmodellen som där presenteras har liknande utformning som den använd för att lösa problemet i detta arbete. Enligt Dykstra (1984) innehåller det klassiska transportproblemet mer än en mottagare något som enbart gäller i Scenario 3 för detta arbete. Modellen användes alltså då enbart en mottagare fanns och löste då alltså endast ut en minimering av transportkostnaden. Detta innebar att det enbart rörde sig om att finna de billigaste (kortaste) sträckorna för tillgången av skogsbränslet till terminalen. I de övriga scenarierna fanns dock krav som gjorde att även priset på skogsbränsle spelade in för upptagningsområdenas utseende.

Vidare går jämförelser att göras med Eriksson och Björheden (1989). De kom fram till att en kostnadsminimering i huvudsak innebar en minimering av transportkostnaderna. Detta är av väsentlig vikt då transportkostnaden i detta arbete har varit den kostnad som modellen i störst grad kunnat påverka.

Bergdahl et al. (2003) kom i deras studie fram till att kostnadsbesparingar kunde genomföras med hjälp av optimering. Optimeringen innebar även här minskade transportavstånd till följd av bättre planerade flöden. Optimeringen genomfördes på tre planeringshorisonter 1,2 och 4 veckor över ett år. Den genomsnittliga kostnadsbesparingen blev 5,3 %. Kostnadsbesparingen blev högst för den längsta planeringsperioden då flera valmöjligheter för destinerings av rundvirke var möjligt. Vid beräkning av avstånd har Bergdahl et al.(2003) använt sig av viapunkter som frännoder där avståndet mellan dessa

viapunkter och mottagare fanns angivna. Viapunkterna var tilldelade volymer rundvirke. Skillnaden mellan de två studierna som inte gör resultaten direkt jämförbara är att Bergdahl et al. (2003) hade mer än en mottagare av bränslet. Studien jämförde dessutom det verkliga flödet mot det optimerade något som inte gick att genomföra i denna då det inte fanns något tidigare flöde att jämföra med. En eventuell förbättringspotential går därför inte att beräkna på samma sätt. Vidare är planeringshorisonten för detta arbete satt till ett år vilket är en lång planeringshorisont och denna skulle leda till en överskattning av förbättringspotentialen.

Forsberg et al. (2005) beskriver i sitt arbete att vid beräkning av upptagningsområden och flöden är problemet sällan att ställa upp det linjära problemet utan problemet ligger i att samla korrekt och relevant indata. De beskriver att efterfrågan ofta går att få tag på medan information om tillgång av råvara är svårare att erhålla. Då FlowOpt avses användas av skogsföretag som exempelvis vill analysera sina historiska flöden med det optimala flödet används ofta företagsspecifika uppgifter om var i geografiska skogsbränslevolymer från föregående år fallit ut. Då detta arbete också använde sig av historisk information om verkliga volymer (som dessutom inte är från en enskild leverantör) styrker detta valt indata och på så sätt också resultaten. Effekten av storleken på volymerna i indata kan jämföras med Kanzian et al. (2009) som kom fram till ett högre behov av skogsbränsle (skogsflis i deras fall) ledde till kostnadsökningar. Detta verifierar att kostnaden för skogsbränsle totalt sett minskade vid ett större utbud (ötv).

#### **5.4 Tolkning av upptagningsområde**

Gällande upptagningsområden visade resultaten att området för bränsleved hölls koncentrerad runt terminalen när konkurrens om bränsleveden från kraftvärmeverket inte fanns. När det i Scenario 2 tilläts att köra in grot till terminalen minskade upptagningsområdet i storlek från fem församlingar till tre. Detta berodde på att den grot som levererades återfanns i de församlingar där huvuddelen av den inlevererade bränsleveden kom från. När efterfrågan på bränsleved från kraftvärmeverket fanns försköts upptagningsområdet för terminalen västerut. Detta skedde då den konkurrens som uppstod kom österifrån och terminalen som låg i väst hade utnyttjad potential i länets västra församlingar.

Det medelvägda transportavståndet blev lägst i Scenario 2 beroende på att två sortiment tilläts för inkörning. Två sortiment tilläts även i Scenario 3 men där krävdes ett näst intill totalt utnyttjande av länets bränsleved vilket ökade det totala transportavståndet.

Skogsbränslekostnaden fritt mottagare blev lägst i Scenario 1. Detta då stora mängder bränsleved fanns tillgängligt nära terminalen i samband med att endast bränsleved (som var väsentligt billigare att transportera än grot) transporterades till terminalen. Den rörliga kostnaden för att transportera 1 MWh bränsleved var ~60 % lägre än för grot.

I känslighetsanalysens antagande *fkfb* påverkades inte det volymvägda medeltransportavståndet för Jämtkraft totalt sett, dock påverkades priset fritt mottagare. Bör då antagande göras om att en kostnadsskillnad på skogsbränslet fritt bilväg ger en kostnadsskillnad (kr/MWh) fritt mottagare medan det volymvägda medeltransportavståndet blir detsamma vid en kostnadsminimering? Transportavståndet borde påverkas av en förändrad kostnad fritt bilväg när det rör sig om två sortiment med olika pris och där inkörningen tilläts att variera mellan de olika sortimenten i syfte att det

billigaste skall väljas (som i Scenario 3). Lukka (1994) visar att i en modell som avser att minimera totalkostnaden (olika råvaror till en koncern) så spelar råvarukostnaden in. Den förklarande faktorn till att det volymvägda medeltransportavståndet inte förändrades ligger här i att groten som blev billigare i *fkfb* redan uppnådde fullständig leverans i ursprungsförutsättningen. Leveransen skedde dessutom från samma församlingar i *fkfb* som i ursprungsförutsättningen. Hade en större mängd grot efterfrågats hade situationen troligtvis sett annorlunda ut. Dock var den rörliga kostnaden för transport av bränsleved väsentligt billigare än för grot även i detta antagande. Inkörningen av grot begränsas därför av långa transportavstånd. Groten blir alltså mer begärlig vid kortare transportavstånd. Bränsleveden förväntas dock bli mer åtråvärd vid längre transportavstånd.

Vid känslighetsanalysen *ötv* förändrades det volymvägda medeltransportavståndet endast i Scenario 3 där det minskade med 11,9 km. Som en följd av detta förändrades också kostnaden för grot och bränsleved endast i detta scenario där kostnaden minskade med 0,5 kr/MWh respektive 3 kr/MWh. Anledningen till att detta skedde var att det i ursprungsförutsättningens tredje scenario sattes en restriktion som krävde att i princip all bränsleved (som inmätts i länet) skulle levereras in. I *ötv* var det samma mängd bränsleved som skulle levereras till mottagare men den tillgängliga volymen var större. Då volymen ökade i församlingar liggandes nära kraftvärmeverket behövdes inte volymerna från de ytterst liggande församlingarna vilket minskade det volymvägda medeltransportavståndet och därmed också transportkostnaden. Detta styrks av Lukka (1994) som påpekar att denna typ av kostnadsminimering tjänar de tillgångar som är lokaliserade nära mottagaren. Kostnadsminskningen för grot berodde på en att en mindre mängd grot inlevererats som en följd av att en större volym bränsleved fanns tillgänglig för terminalens närmast liggande församlingar.

Relevansen av transportkostnaden var högst i Scenario 3 då fullt utnyttjande av länets grot och bränsleved skedde. Av samma anledning gjorde detta att det beräknade upptagningsområdet för terminalen blev mest användbart för värdforetaget i Scenario 3.

## **5.6 Rekommendationer**

För de geografiska flödena av skogsbränsle bör antaganden om att flöden ser lika ut från år till år inte göras då både flödesriktningar och utfall kan förväntas ändras.

Det scenario som skall ses som mest korrekt med avseende på storleken för terminalens upptagningsområde är Scenario 3 i ursprungsförutsättningen då detta scenario beskriver situationen vid ett nästan fullständigt uttag bränsleveden som mättes in i Jämtland. Detta är vad som kan väntas ske i verkligheten då värdforetaget är en stor aktör i länet och av det skogsbränsle som stannar i länet kan en stor andel förväntas gå till dem. Scenariot beräknade dessutom flödet till kraftvärmverket vilket är ett flöde som måste finnas med.

Kostnaderna för skogsbränsle fritt mottagare som redovisats i studien bör inte ses som de exakta kostnaderna värdforetaget kommer ha för skogsbränslet då de bygger på en kostnad fritt bilväg som framräknades med medeltransportavstånd och medelkostnader för Jämtkraft år 2011. Kostnaderna kan därför förväntas ändras beroende på utbud och prisbild för skogsbränslet.

## 5.7 Nya Studier

För de geografiska flödena av skogsbränsle bör vidare forskning ägnas åt att redogöra vad som händer med skogsbränslet i ett eventuellt andra led för att se var det på järnvägsterminal inmätta skogsbränslet tar vägen. Studier bör också genomföras för att fastställa inflödet av skogsbränsle till länet. Detta för att se om de lokala aktörerna i ett län importerar skogsbränsle från andra län eller länder exempelvis import av marginalvolymen i syfte att förbättra kostnadsbilden lokalt. Detta likt den av värd företaget genomförda importen av returträ från England.

Då uttaget av skogsbränsle från församlingar liggandes väster om terminalen kan tänkas öka på grund av det lägre transportavstånd som uppstår i samband med terminalens öppnande vore det intressant med studier som jämförde utfallet av skogsbränsle före och efter terminalens öppnande. Kommer en större andel lågvärdig massaved säljas som bränsleved eller får vi se nya avverkningsformer för skogsbränslen exempelvis röjningsgallringar?

## 6 Slutsats

- 79 % av Jämtländskt skogsbränsle mättes in i Jämtland år 2011 varav 27 % på järnvägsterminal
- Bränsleved var år 2011 största skogsbränslesortiment och stod för 54 % av den totalt redovisade skogsbränslemängden
- Grotflis var det sortiment som till störst andel lämnade Jämtlands län med en uttransport på 46 %
- Scenario 3 i ursprungsförutsättningen anses ge mest realistiska upptagningsområden för Jämtkrafts terminal i Mörsil samt deras kraftvärmeverk i Lugnvik
- Det volymvägda medeltransportavståndet för terminalen i Mörsil vid konkurrens med Lugnviks kraftvärmeverk blev för bränsleved 41,6 km och 25,6 km för grot.
- Det totala volymvägda medeltransportavståndet blev för Jämtkraft vid Scenario 3 73,1 km och kostnaden för skogsbränslet blev 149,8 kr/MWh

## **7 Tillkännagivande**

Ett stort tack riktas till all personal vid bränsleavdelningen på Jämtkraft och då framförallt till min biträdande handledare Jonas Vestun samt Mats Svensson som ställt upp med idé till examensarbete, kunskap inom energibranschen samt givande synpunkter på arbetet.

Ett lika stort tack riktas till Oskar Cederlöf vid SDC som har bidragit med materialet som har varit helt avgörande för genomförandet av arbetet.

Jag vill även tacka min handledare Dimitris Athanassiadis som under hela arbetet bidragit med konstruktiv feedback och mycket tid.

Alla mina kurskamrater som har spenderat sin tid skrivande på examensarbeten vid SLU i Umeå förtjänar också ett stort tack för all aktiv IT-support, korrekturläsningar m.m. Inga nämnda inga glömda.

Anders Wittenström  
Umeå, mars 2013



## 8 Litteraturlista

### *Tryckta referenser*

Angus-Hankin, C. Stokes, B & Twaddle, A. 1995. The transportation of fuelwood from forest to facility. *Biomass and Bioenergy* 9:1-5, 191-203.

Anon. 2012. Biokraft i Sverige 2012. *Bioenergi* 4.

Bergdahl, A. Örtendahl, A & Fjeld, D. 2003. The Economic Potential for Optimal Destination of Roundwood in North Sweden- Effects of Planning Horizon and Delivery Precision. *International Journal of Forest Engineering* Vol. 14:1, 81-88.

Brunberg, T. 2010. Skogsbränsle: metoder, sortiment och kostnader 2009. Uppsala: Skogforsk. Resultat 2010:12.

Bäcke, J. 2012. Avverkning och virkesmätning. I: Wigtrup, I. (Red) Skogsstatistisk årsbok 2102. 157-175 Jönköping: Skogsstyrelsen.

Bäcke, J. Herling, M & Svensson, S-A. 2010. Översyn av Skogsstyrelsens virkesmättningsföreskrifter- analys och förslag. Jönköping: Skogsstyrelsen. Rapport 2010:5. ISSN 1100-0925.

Dykstra, D, P. 1984. Mathematical programming for natural resource management. New York: McGraw-Hill Book Company.

Egnell, G. 2009. Skogsbränslen. Skogsskötselserien nr 17. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Energimyndigheten. 2009. Lyckad insats inom energiforskningen: Biobränsle ett nytt ben i det svenska energisystemet. Eskilstuna: Citat ab/ Edita Group. ET 2009:24.

Enström, J. Barth, A. Winberg, P. Fogdestam, N & Berg, S. 2010. Inlandsbanans potential för Sveriges skogsbränsleförsörjning. Uppsala: Skogforsk. Rapport 2010: 727. ISSN 1404-305X.

Eriksson, L-O. & Björheden, R. 1989. Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier, *European Journal of Operational Research* 43, 26-33.

Flisberg, P. Frisk, M. Rönnqvist, M. 2012. FuelOpt: a decision support system for forest fuel logistics. *Journal of the Operational Research society* 63:11, 1600-1612.

Forsberg, M. Frisk, M. & Rönnqvist, M. 2005. FlowOpt- A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry. *International Journal of Forest Engineering* 16:2, 101-114.

Forsberg, M. 2009. Tågtransport och terminalhantering av Salix. Förstudie. Uppsala. JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Rapport 384. ISSN 1404-4963.

Frisk, M. & Rönnqvist, M. 2005. FlowOpt- en väg till effektivare virkesflöden. Umeå: Skogforsk. Resultat 2005:8. ISSN 1103-4137.

Frosch, M. & Thorén, P. 2010. Järnvägstransport av biobränslen. Stockholm: Värmeforsk Service AB. ISSN 1653-1248.

Hammarlund, C. Ericsson, K. Johansson, H. Lundmark, R. Olsson, A. Pavlovskaja, E & Wilhelmsson, F. 2010. Bränsle för ett bättre klimat- marknad och politik för biobränslen. Lund: AgriFood Economics Centre. Rapport 2010:5.

Haapaniemi, M. 2011. En generell processkartläggning av leveransplanering för Biobränsle i Sverige. Umeå: SLU Examensarbete Institutionen för skoglig resurshushållning ISSN-1404-1204.

Jacobsson, J. 2005. En uppdatering av kunskapsläget beträffande tillgång och efterfrågan på biobränsle. slutversion 2.0. Sigtuna: JJForestry AB.

Johnasson, E. 2010. Skogsbränslen i Mälardalsområdet, kraftvärmeverkens syn på råvaruförsörjningen 2010-2015. Uppsala: SLU Examensarbete Skogens produkter 88. ISSN 1654-1367.

Jämtkraft. 2011. Årsredovisning Jämtkraft AB 2010.

Jämtkraft. 2012. Årsredovisning Jämtkraft AB 2011.

Kanzian, C. Holzleitner, F. Stampfer, K. & Ashton, S. 2009. Regional Energy Wood Logistics- Optimizing Local Fuel Supply. Silva Fennica 43:1, 113-128.

Loman, J-O. 2012. Trädbränslen. I: Wigtrup, I. (Red) Skogsstatistisk årsbok 2102, 227-236 Jönköping: Skogsstyrelsen.

Lukka, A. 1994. Materials acquisition planning models. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology. ISSN 0784-7688.

NUTEK. 1992. Trädbränsle-92, -Biobränsle från skogsbruket. Stockholm: Närings- och teknikutvecklingsverket. R1992:23.

Svensson, S-A. 2008. Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2007- SKA-VB 08. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0925.

SIS. 2000. Svensk Standard SS 18 71 06. Fasta biobränslen och torvbränslen- Terminologi. SIS: Stockholm.

Svensk Fjärrvärme. 2005. Avtalsmall för träd och torvbränslen, med tillhörande kommentarer. Stockholm: Svensk Fjärrvärme Rapport 2005:2. ISSN 1401-9264.

Thuresson, T. 2010. Bioenergi från skog, uppdaterad bedömning av potentialer och förutsättningar för svenskt skogsbruk att producera främst primära skogsbränslen – vintern 2009/2010. Kumla: Zephyr skogskonsult.

Åkesson, H. Byman, K. Rydstrand, C. Wiklund, S-E. Åsell, O. 2005. Bättre miljö med utbyggd fjärr- och närvärme. En utvärdering av LIP-finansierade fjärr och närvärmeprojekt. Stockholm: Naturvårdsverket. Rapport 5372.

## Elektroniska referenser

Anon. 2013. "Simplexmetoden". Nationalencyklopedin. [online] Tillgänglig: <http://www.ne.se/simplexmetoden> [2013-01-15]

Egnéus, H. 2012. "Biobränsle". Nationalencyklopedin. [online] Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/biobransle> [2012-08-23]

Energimyndigheten. 2011. Energiläget i siffror 2011 [online]. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/Global/Statistik/Energil%C3%A4get/Energil%C3%A4get%20i%20siffror%202011.pdf> [2012-09-12]

Esri. 2012. What is GIS? [online]. Tillgänglig: [http://www.esri.com/what-is-gis/overview.html#overview\\_panel](http://www.esri.com/what-is-gis/overview.html#overview_panel) [2012-09-09]

Larsson, F & Nyhlinder, M. 2012. Wood Energy Calculations. [online]. Tillgänglig: <http://woodenergy.sites.djangoeurope.com/conversion/> [2013-03-11]

Näringsdepartementet. 2010. Sveriges Nationella Handlingsplan för främjande av förnybar energi enligt direktiv 2009/28/EG och Kommissionens beslut av den 30.6.2009 [online]. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/14/90/23/968a6b5e.pdf> [2013-02-09]

SCB. 2012. Atlas över Rikets indelningar 1992 [online]. Tillgänglig: <http://www.gis.scb.se/atlas/RikIndAtlas1992/showimg.asp?imgnr=64> [2012-12-10]

SDC. 2011. VIOL Koder, v 4.9. [online]. Tillgänglig: <http://www.sdc.se/admin/Filer/Kodbok-2.pdf> [2013-02-27]

SDC. 2012a. Från avtal till redovisning, så här fungerar det när du säljer virke. Information om virkesmätning och virkesredovisning i Sverige [online]. Tillgänglig: [http://ny.sdc.se/admin/PDF/Fr%C3%A5n\\_avtal\\_till\\_redovisning\\_webb.pdf](http://ny.sdc.se/admin/PDF/Fr%C3%A5n_avtal_till_redovisning_webb.pdf) [2013-01-7]

SDC. 2012b. Virkesorder [online]. Tillgänglig: [http://www.sdc.se/admin/PDF/Virkesorder\\_webb.pdf](http://www.sdc.se/admin/PDF/Virkesorder_webb.pdf) [2012-12-10]

## Personlig kommunikation

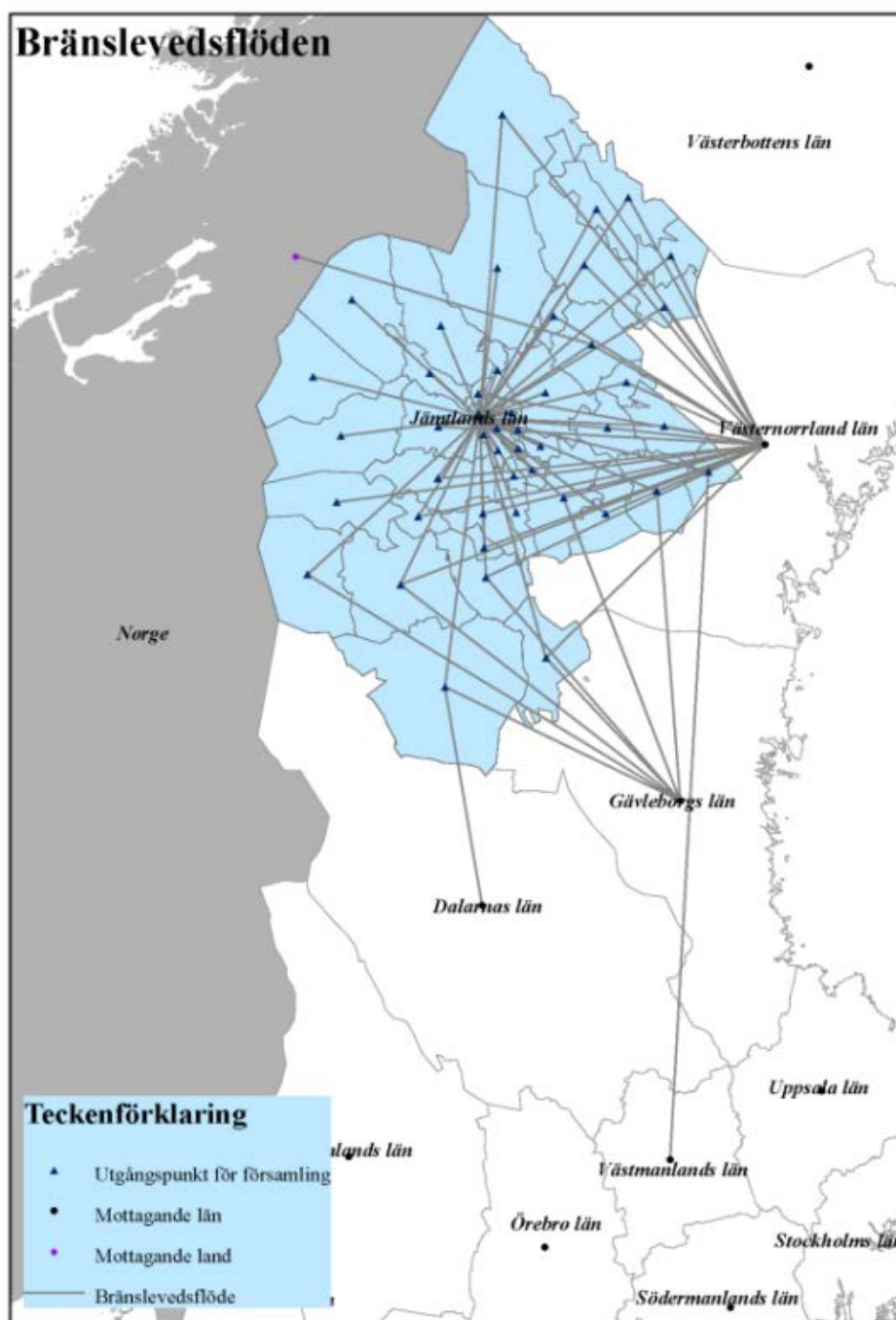
Aho, Mattias. Elproduktion Jämtkraft, Östersund. Intervju 23 oktober 2012.

Haglund, Leif. VMF Nord, Östersund. Telefonintervju 28 november 2012.

Svensson, Mats. Avdelning Bränsle Jämtkraft, Östersund. Intervju 22 oktober 2012.

Vestun, Jonas. Chef avdelning Bränsle Jämtkraft, Östersund. Intervju 24 oktober 2012.

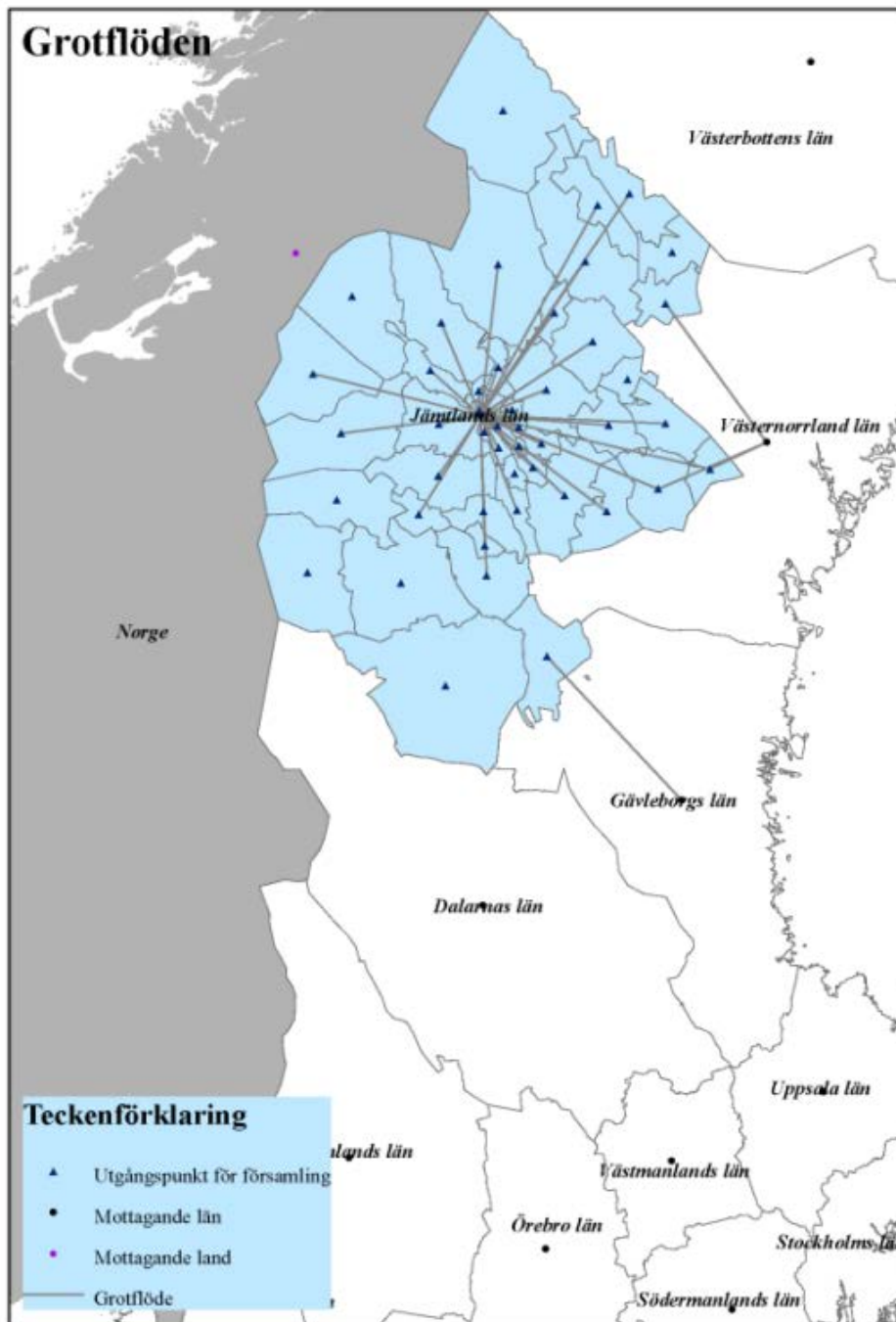
## Bilaga 1. Skogsbränsleflödeskartor



**Figur 1:1.** Bränslevedsflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län och länder.

**Figure 1:1.** The flows of fuelwood from assemblies in Jämtland to the receiving counties and countries.

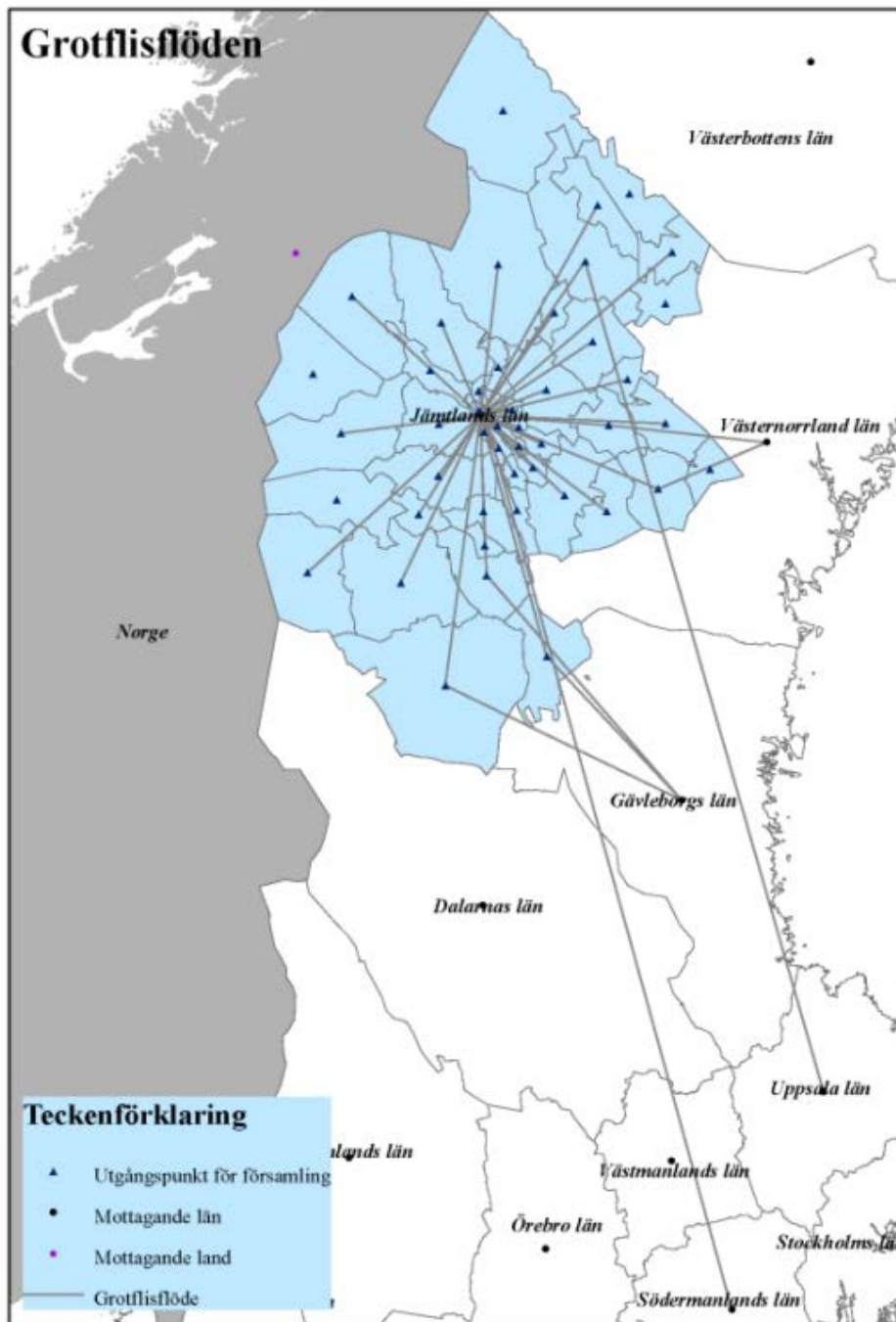
© Lantmäteriet, i2012/901, © Esri



**Figur 1:2.** Grotflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.

*Figure 1:2.* The flows of logging residues from assemblies in Jämtland to the receiving counties.

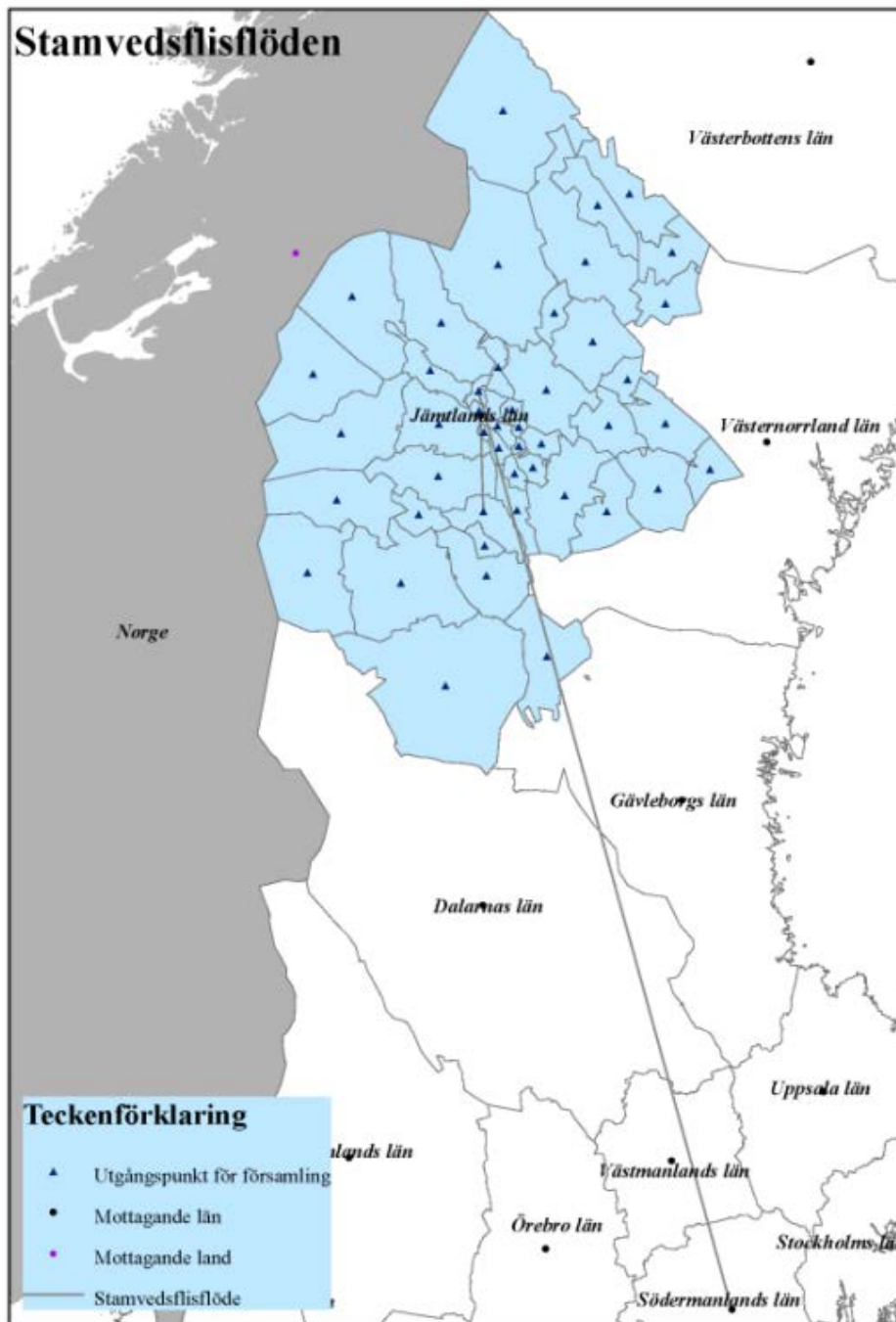
© Lantmäteriet, i2012/90, © Esri



**Figur 1:3** Grotflisflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.

*Figure 1:3.* The flows of woodchip from logging residues from assemblies in Jämtland to the receiving counties.

© Lantmäteriet, i2012/90, © Esri

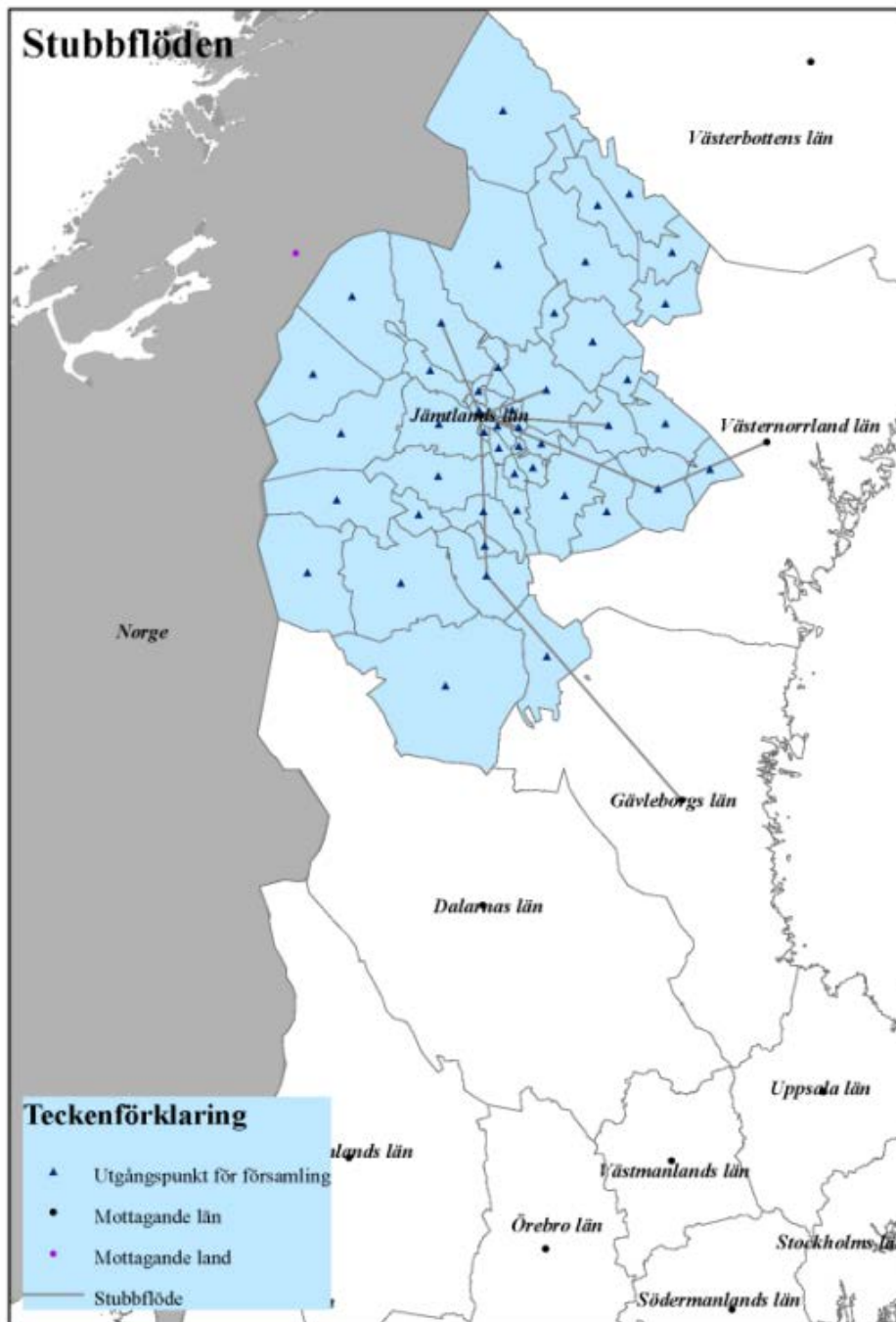


**Figur 1:4** Stamvedsflisflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.

**Figure 1:4.** The flows of woodchips from stemwood from assemblies in Jämtland to the receiving counties.

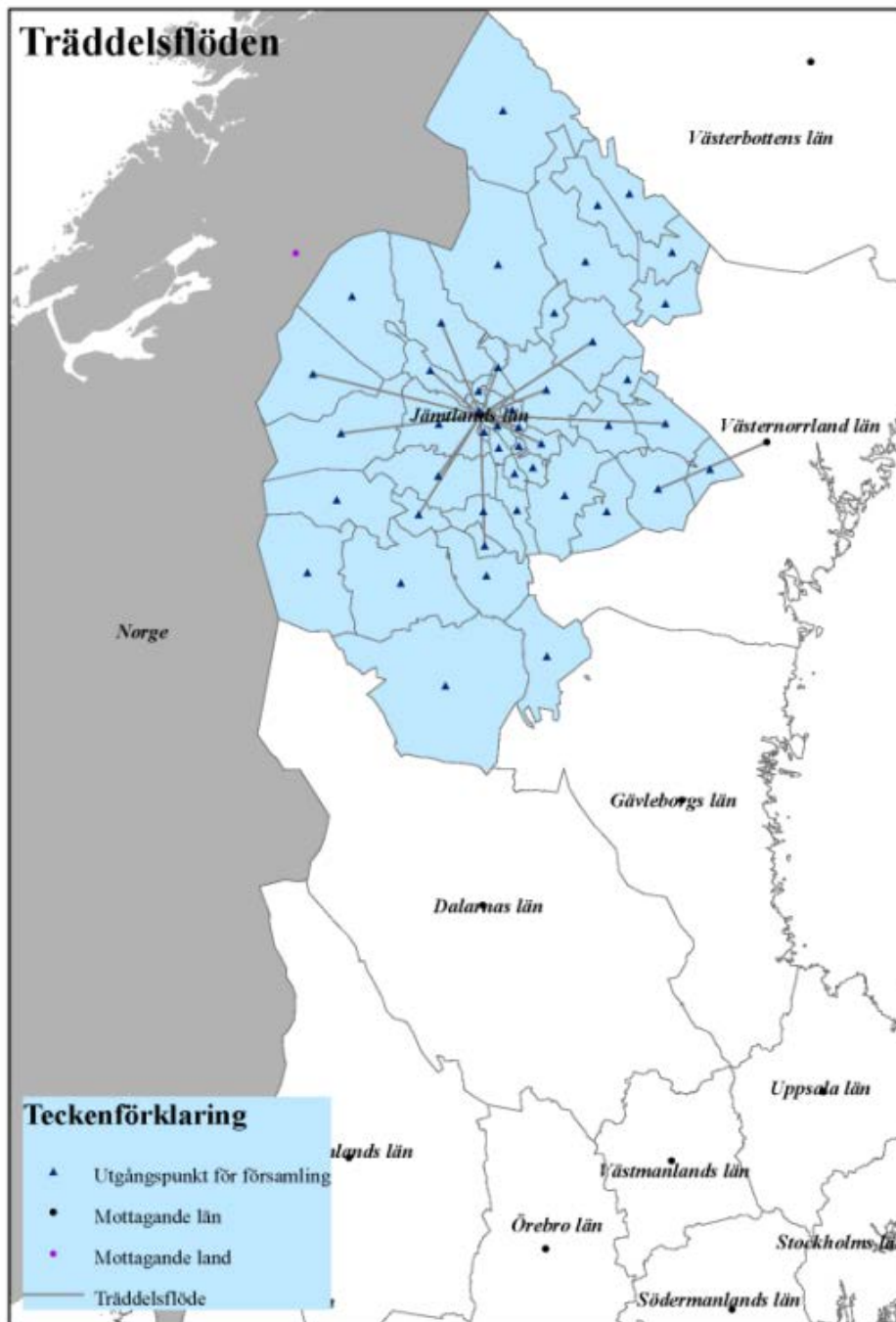
© Lantmäteriet, i2012/90, © Esri





**Figur 1:5.** Stubbflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.  
**Figure 1:5.** The flows of stumps from assemblies in Jämtland to the receiving counties.  
 © Lantmäteriet, i2012/90, © Esri

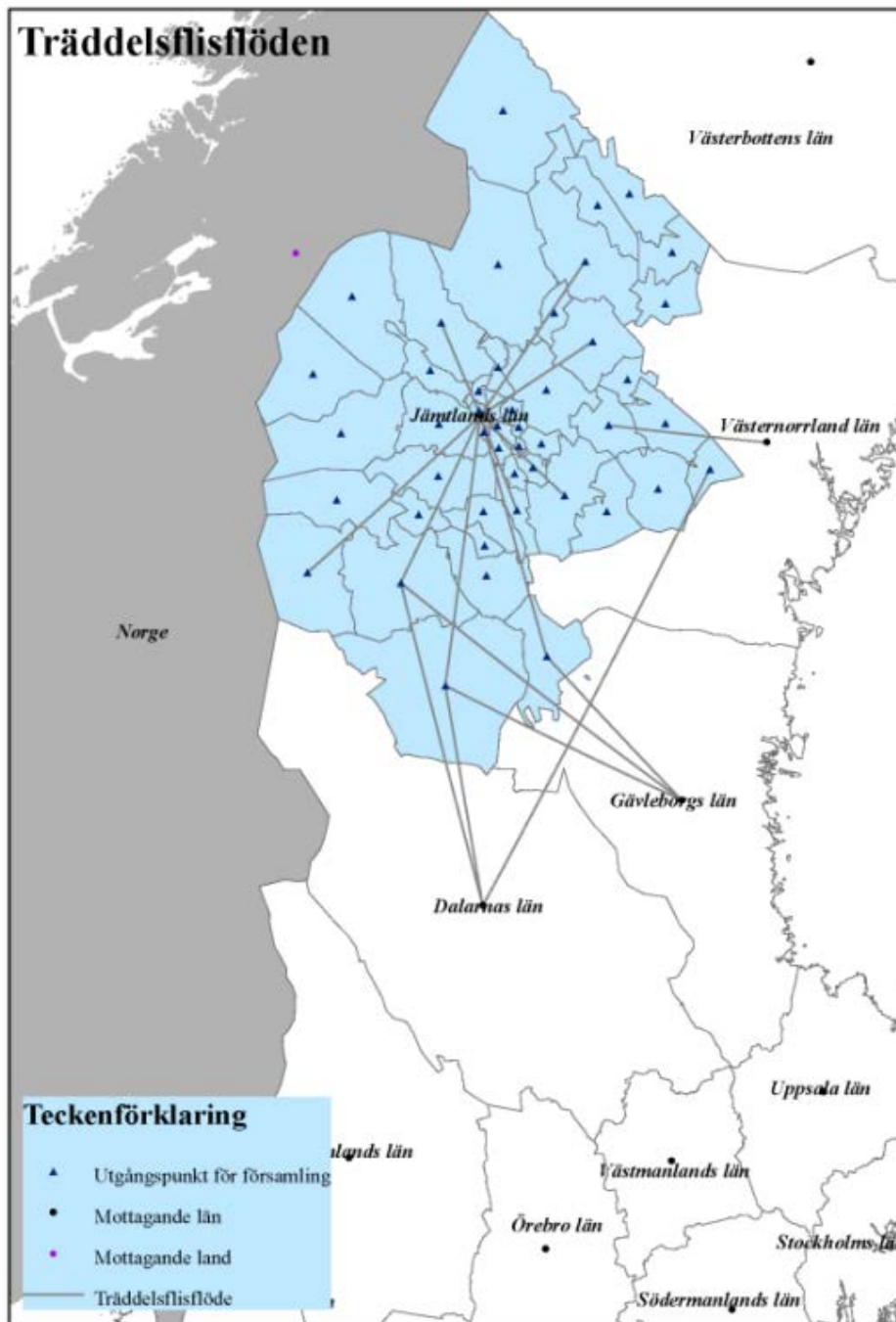




**Figur 1:6.** Träddelsflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.

**Figure 1:6.** The flows of woodchips from tree parts from assemblies in Jämtland to the receiving counties.

© Lantmäteriet, i2012/90, © Esri



**Figur 1:7.** Träddelsflisflöden från Jämtländska församlingar till mottagande län.

**Figure 1:7.** The flows of woodchips from tree parts from assemblies in Jämtland to the receiving counties.

© Lantmäteriet, i2012/90, © Esri